

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD
CATÓLICA DEL PERÚ**

Facultad de Letras y Ciencias Humanas



La distribución espacial del cedro (*Cedrela odorata L.*)
dentro del Bosque de Protección San Matías-San Carlos y
su Zona de Amortiguamiento: proyecciones para el periodo
2041 - 2060

Tesis para obtener el título profesional de Licenciado en Geografía y
Medio Ambiente que presenta:

Daniel Enrique Chamocho Chvedine

Asesor:

Dr. Martin Enrique Timana de la Flor

Lima, 2023



PUCP

Facultad de Letras
y Ciencias Humanas

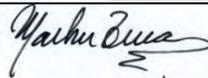
Informe de Similitud

Yo, MARTIN ENRIQUE TIMANA DE LA FLOR, docente de la Facultad de LETRAS Y CIENCIAS HUMANAS de la Pontificia Universidad Católica del Perú, asesor de la tesis titulada:

LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL CEDRO (*CEDRELA ODORATA L.*) DENTRO DEL BOSQUE DE PROTECCIÓN SAN MATÍAS-SAN CARLOS Y SU ZONA DE AMORTIGUAMIENTO: PROYECCIONES PARA EL PERIODO 2041 – 2060, del autor DANIEL ENRIQUE CHAMOCHUMBI CHVEDINE, dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 24%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 04/06/2023.
- He revisado con detalle dicho reporte y la Tesis o Trabajo de Suficiencia Profesional, y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

Lugar y fecha: Lima, 04 de junio de 2023

TIMANA DE LA FLOR, MARTIN ENRIQUE	
DNI: 25696637	Firma 
ORCID: 0000-0003-1559-4449	



AGRADECIMIENTOS

Ante todo, quiero agradecer profundamente a mis padres: Katuska Chvedine y Enrique Chamochumbi, por respaldar siempre mis decisiones y confiar en mí para seguir adelante con mis objetivos de vida, así como haber sido mi soporte durante toda mi formación profesional.

Quiero agradecer, además, a Ximena Peralta, quien me ha acompañado durante la vida universitaria, apoyándome, aconsejándome y celebrando cada paso que lograba hasta llegar a donde me encuentro en la actualidad.

Agradezco a los grandes amigos que conocí y que me dejó la carrera: Leonardo, Tarik, Francisco, Gabriel, Diego, Cristóbal, María, Sandra, Dana y más que podría seguir mencionando. Todos ellos han significado mucho en mi etapa universitaria y, sobre todo, en mi formación profesional y personal, además de compartir momentos inolvidables. Les agradezco a cada uno de ellos por la motivación para aventurarnos en la Geografía y mantenernos firmes hasta el final.

Agradezco a los grandes amigos que conocí en WWF Perú, quienes me motivaron a continuar y finalizar con la tesis: Brenda Toledo, por darme la oportunidad de crecer profesionalmente y ser una guía en el camino de lo que más me apasiona: la conservación; Mariela Cánepa, por sus enseñanzas de la vida, la paciencia e incansable insistencia para terminar la tesis; Nelson Gutiérrez, por su gigante disposición en apoyarme y ser quien me llevó a reorientar el enfoque de la tesis para poder finalizarla.

Agradezco a los grandes profesores que la carrera me presentó en el camino y quienes, sin duda, han contribuido enormemente en mi desarrollo profesional: Dr. Martín Timaná, quien me permitió descubrir el camino por el cual quería enfocarme, por sus enseñanzas a lo largo de la carrera universitaria, sus

conocimientos para asesorarme en la elaboración de la tesis y, de hecho, a quién admiro desde Estudios Generales Letras; Dr. Carlos Tavares, por sus consejos en pregrado, su preocupación en encaminar adecuadamente este trabajo cuando llevaba el curso de Taller de Investigación y Formación Profesional 2 (más conocido como Tesis 2) y por la calidad excepcional de persona que es; Dr. Zaniel Novoa, por sus enseñanzas, experiencias y cercanía que siempre tuvo con sus alumnos; Maria Alejandra Cuentas, por sus enseñanzas en biogeografía y su pasión que nos transmitía; y, finalmente, a Gustavo Rondón, gracias a quien reafirmé mi decisión de continuar en la carrera en Estudios Generales Letras y, además, por su gran amistad.



RESUMEN

La Amazonía peruana representa el 60.9% del territorio nacional (Infobosques, 2009). Es debido a su gran extensión y complicada accesibilidad por lo que en ella se generan procesos complejos que se amplifican debido a una débil presencia del Estado y gestión ineficaz de los recursos naturales. Las Áreas Naturales Protegidas buscan salvaguardar la naturaleza y los servicios ecosistémicos que esta nos brinda. Sin embargo, en algunas de ellas, como es el caso del Bosque de Protección San Matías-San Carlos, la gestión efectiva se complica por factores antrópicos que ocasionan perturbaciones en los ecosistemas, los cuales pueden verse potenciados a futuro bajo un contexto de cambio climático y, en consecuencia, afectar a especies de gran valor como la especie forestal *Cedrela odorata* L. (cedro). No obstante, la brecha de información es una de las limitantes principales para una adecuada toma de decisiones, por lo que es necesario determinar aspectos como la distribución espacial del cedro en el ANP, realizar proyecciones a futuro considerando diversos escenarios de cambio climático y, además, delimitar las zonas específicas de mayor presión antrópica para generar acciones efectivas basadas en ciencia que contribuyan a una mejor gestión del territorio. Para ello, se empleó el software de Modelamiento de Distribución de Especies Maxent 3.4.4., en el cual se empleó 99 puntos de ocurrencia del cedro y 21 variables de predictores ambientales, tanto para la actualidad como para el periodo 2041 – 2060 bajo los escenarios de cambio climático RCP 4.5 y 8.5. Asimismo, se identificó las áreas de mayor presión de deforestación mediante un mapa de densidad de Kernel para priorizar zonas en donde es necesario fortalecer el control. Finalmente, el análisis determinó que podría existir una alarmante reducción del 81.5% y 91% del área de mayor probabilidad de distribución del cedro para los escenarios futuros de cambio climático intermedio (RCP 4.5) y pesimista (RCP 8.5), respectivamente.

ABSTRACT

The Peruvian Amazon represents 60.9% of the national territory (Info Bosques, 2009). Due to its great extension and difficult accessibility complex processes are generated in it, which are amplified due to a weak presence of authorities and the inefficient management of natural resources. Protected Natural Areas objective is to safeguard nature and the ecosystem services it provides. However, in some of them, such as the Bosque de Protección San Matías-San Carlos, effective management is threatened by anthropic factors that cause disturbances in the ecosystems, which may be enhanced in the future in a climate change frame and, as a consequence, affect species of great value such as *Cedrela odorata* L. (cedar). However, the information gap is one of the main limitations for decision making, so it is necessary to establish the current spatial distribution of cedar in the protected area, make future projections considering some climate change scenarios, and, in addition, determine the specific areas of greatest anthropic pressure, in order to generate effective actions based on science that contribute to improve management of the territory. For this, the Maxent 3.4.4 Species Distribution Modeling software was applied, in which 99 points of occurrence of cedro and 21 variables of environmental predictors were introduced, both for the present and for the period 2041 - 2060 under the RCP 4.5 and 8.5 climate change scenarios; likewise, the areas of greatest deforestation pressure were identified through a Kernel density map to prioritize areas where it is necessary to strengthen control. Finally, the analysis shows that there would be an alarming reduction of 81.5% and 91% in the area of greatest probability of distribution of cedro for future intermediate (RCP 4.5) and pessimistic (RCP 8.5) climate change scenarios, respectively.

TABLA DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	ii
RESUMEN	iv
ABSTRACT.....	v
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE MAPAS.....	xii
SIGLAS Y ACRÓNIMOS	xiv
INTRODUCCIÓN	1
I. PROBLEMÁTICA.....	3
II. JUSTIFICACIÓN	6
III. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN.....	7
IV. OBJETIVOS.....	8
OBJETIVO GENERAL.....	8
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	8
CAPÍTULO 1.....	9
MARCO CONCEPTUAL	9
1.1. MARCO TEÓRICO	9
1.1.1. El cedro (<i>Cedrela odorata</i> L.).....	9
1.1.1.1. Importancia comercial	11
1.1.1.2. Estado de conservación y Biogeografía en el Perú.....	11
1.1.2. Perturbación y fragmentación del bosque.....	12
1.1.2.1. Perturbaciones humanas.....	14
1.1.2.1.1. Deforestación en la Amazonía	14
1.1.2.1.1.1. Tala ilegal con fines comerciales.....	15
1.1.2.1.1.2. Cambio de uso de suelo a pequeñas parcelas agrícolas.....	17
1.1.3. Cambio climático.....	19
1.1.3.1. Escenarios futuros de cambio climático.....	19
1.1.3.2. Efectos del cambio climático en los ecosistemas amazónicos	23
1.1.3.3. Vulnerabilidad de especies arbóreas al cambio climático	23

1.1.4. Modelamiento de Distribución de Especies (MDE)	24
1.1.4.1. Maxent	26
1.2. ANTECEDENTES	26
1.2.1. Estudios previos en extracción ilegal de madera en ANP	27
1.2.2. Estudios previos en patrones de distribución de especies forestales en zonas boscosas perturbadas.....	28
1.2.3. Estudios previos en Modelamiento de Distribución de Especies (MDE) forestales con Maxent.....	29
CAPÍTULO 2.....	32
ÁREA DE ESTUDIO.....	32
2.1. Ubicación	32
2.1.1. Características geográficas.....	35
2.2. Áreas Naturales Protegidas – ANP.....	36
2.3. Reserva de la Biosfera Oxapampa-Asháninka-Yánesha	37
2.4. Bosque de Protección San Matías-San Carlos – BPSMSC	39
2.4.1. Zonificación del Bosque de Protección San Matías-San Carlos – BPSMSC	42
2.4.2. Zona de Amortiguamiento (ZA) del BPSMSC	45
2.5. Población.....	45
2.5.1. Datos Socioeconómicos.....	45
2.5.2. Comunidades Nativas	46
2.6. Cobertura Vegetal	48
2.7. Capacidad de Uso Mayor	50
CAPÍTULO 3.....	52
METODOLOGÍA.....	52
3.1. Distribución espacial potencial de <i>Cedrela odorata</i> L. (cedro) en la actualidad	52
3.1.1. Obtención de datos de presencia y control de calidad	53
3.1.2. Obtención y preparación de predictores ambientales para el periodo 1981 – 2010. ...	55
3.2. Distribución espacial potencial futura de <i>Cedrela odorata</i> L. (cedro) para el periodo 2041 – 2060	57
3.2.1. Obtención y preparación de predictores ambientales futuros para el periodo 2041 – 2060.....	58
3.3. Modelamiento de distribución espacial potencial de <i>Cedrela odorata</i> L. (cedro) con el software Maxent 3.4.4.	59
3.4. Identificación de hotspots de deforestación por actividades antrópicas	59

3.4.1. Identificación de áreas boscosas deforestadas.....	60
3.5. Cálculo de áreas.....	62
CAPÍTULO 4.....	65
RESULTADOS.....	65
4.1. Distribución espacial potencial de <i>Cedrela odorata L.</i> (cedro) en el Bosque de Protección San Matías-San Carlos y su Zona de amortiguamiento en la actualidad.....	65
4.2. Distribución espacial potencial futura de <i>Cedrela odorata L.</i> (cedro) en el Bosque de Protección San Matías-San Carlos y su Zona de amortiguamiento para el periodo 2041 – 2060.....	69
4.3. Identificación de hotspots de deforestación por actividades antrópicas.....	78
4.4. Pérdida de bosque para el periodo 2001 – 2020 y 2050.....	80
CAPÍTULO 5.....	82
DISCUSIÓN.....	82
5.1. Recopilación de datos de presencia del cedro dentro del área de estudio.....	82
5.2. distribución espacial potencial de <i>Cedrela odorata L.</i> (cedro) en el Bosque de Protección San Matías-San Carlos y su zona de amortiguamiento.....	86
5.3. Amenazas hacia las poblaciones de cedro dentro del Bosque de Protección San Matías-San Carlos y su zona de amortiguamiento.....	91
CAPÍTULO 6.....	98
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	98
BIBLIOGRAFÍA.....	101
ANEXOS.....	112
Anexo 1. Puntos de ocurrencia de cedro (<i>Cedrela odorata L.</i>) en las regiones de Huánuco, Pasco y Junín.....	112
Anexo 2. Sistema de carpetas de trabajo.....	115
Anexo 3. Procedimiento metodológico detallado.....	117

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1. Variables bioclimáticas estandarizadas.....	55
Tabla 3.2. Variables topográficas.....	57
Tabla 3.3. Rangos de probabilidad de ocurrencia de la especie en la actualidad según clases reclasificadas.....	63
Tabla 4.1. Áreas calculadas correspondientes a las zonas de “Mayor probabilidad” de ocurrencia de cedro (>0.788) para los tres escenarios evaluados.....	78
Tabla 4.2. Variación de la cobertura boscosa dentro del áreas de estudio, para el periodo 2020 – 2050.....	81
Tabla 5.1. Variación del área de mayor probabilidad (>0.788) de ocurrencia de cedro dentro del área de estudio, para el periodo 2020 – 2050.....	89



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Cedro en el Jardín Botánico de Tingo María	10
Figura 1.2. Corteza externa del tronco de cedro en el Jardín Botánico de Tingo María.....	10
Figura 4.1. Análisis de omisión/comisión: omisión y área predicha para <i>Cedrela odorata L.</i> en la actualidad dentro del Bosque de Protección San Matías-San Carlos y su Zona de Amortiguamiento.....	68
Figura 4.2. Análisis de omisión/comisión: Sensibilidad vs 1 – Especificidad para <i>Cedrela odorata L.</i> en la actualidad dentro del Bosque de Protección San Matías-San Carlos y su Zona de Amortiguamiento.....	68
Figura 4.3. Análisis jackknife sobre cada variable para <i>Cedrela odorata L.</i> en la actualidad dentro del Bosque de Protección San Matías-San Carlos y su Zona de Amortiguamiento.....	69
Figura 4.4. Análisis de omisión/comisión: omisión y área predicha para <i>Cedrela odorata L.</i> para el periodo 2041 – 2060 bajo un escenario de cambio climático intermedio RCP 4.5 dentro del Bosque de Protección San Matías-San Carlos y su Zona de Amortiguamiento.....	72
Figura 4.5. Análisis de omisión/comisión: Sensibilidad vs 1 – Especificidad para <i>Cedrela odorata L.</i> para el periodo 2041 – 2060 bajo un contexto de cambio climático intermedio RCP 4.5 dentro del Bosque de Protección San Matías-San Carlos y su Zona de Amortiguamiento.....	72
Figura 4.6. Análisis jackknife sobre cada variable para <i>Cedrela odorata L.</i> para el periodo 2041 – 2060 bajo un escenario de cambio climático pesimista RCP 4.5 dentro del Bosque de Protección San Matías-San Carlos y su Zona de Amortiguamiento.....	73
Figura 4.7. Análisis de omisión/comisión: omisión y área predicha para <i>Cedrela odorata L.</i> para el periodo 2041 – 2060 bajo un escenario de cambio climático pesimista RCP 8.5 dentro del Bosque de Protección San Matías-San Carlos y su Zona de Amortiguamiento.....	76
Figura 4.8. Análisis de omisión/comisión: Sensibilidad vs 1 – Especificidad para <i>Cedrela odorata L.</i> para el periodo 2041 – 2060 bajo un contexto de cambio climático pesimista RCP 8.5 dentro del Bosque de Protección San Matías-San Carlos y su Zona de Amortiguamiento.....	76
Figura 4.9. Análisis jackknife sobre cada variable para <i>Cedrela odorata L.</i> para el periodo 2041 – 2060 bajo un escenario de cambio climático pesimista RCP 8.5	

dentro del Bosque de Protección San Matías-San Carlos y su Zona de Amortiguamiento.....77

Figura 4.10. Evolución del área de bosque y área de bosque deforestado dentro del ANP y su ZA, para el periodo 2020 – 2050.....81

Figura 5.1. Evolución potencial del área de mayor probabilidad (>0.788) de ocurrencia de cedro dentro del área de estudio, para el periodo 2020 – 2050.....89



ÍNDICE DE MAPAS

Mapa 2.1. Ubicación del Bosque de Protección San Matías-San Carlos.....	33
Mapa 2.2. Rango altitudinal del Bosque de Protección San Matías-San Carlos y su Zona de Amortiguamiento.....	34
Mapa 2.3. Ubicación de la Reserva de la Biosfera Oxapampa-Asháninka-Yánesha.....	38
Mapa 2.4. Ecorregiones del Bosque de Protección San Matías-San Carlos.....	41
Mapa 2.5. Zonificación del Bosque de Protección San Matías-San Carlos.....	44
Mapa 2.6. Territorios de comunidades nativas dentro del Bosque de Protección San Matías-San Carlos y su Zona de Amortiguamiento.....	47
Mapa 2.7. Cobertura vegetal del Bosque de Protección San Matías-San Carlos y su Zona de Amortiguamiento.....	49
Mapa 2.8. Capacidad de Uso Mayor (CUM) del Bosque de Protección San Matías-San Carlos y su Zona de Amortiguamiento.....	51
Mapa 4.1. Distribución espacial potencial de <i>Cedrela odorata</i> L. (cedro) en el Bosque de Protección San Matías-San Carlos y su Zona de Amortiguamiento en la actualidad.....	67
Mapa 4.2. Distribución espacial potencial de <i>Cedrela odorata</i> L. (cedro) en el Bosque de Protección San Matías-San Carlos y su Zona de Amortiguamiento para el periodo 2041 – 2060 bajo un escenario de cambio climático intermedio (RCP 4.5).....	71
Mapa 4.3. Distribución espacial potencial de <i>Cedrela odorata</i> L. (cedro) en el Bosque de Protección San Matías-San Carlos y su Zona de Amortiguamiento para el periodo 2041 – 2060 bajo un escenario de cambio climático pesimista (RCP 8.5).....	75
Mapa 4.4. Deforestación acumulada e identificación de hotspots por actividades antrópicas para el periodo 2001 – 2020 dentro del Bosque de Protección San Matías-San Carlos y su Zona de Amortiguamiento.....	79

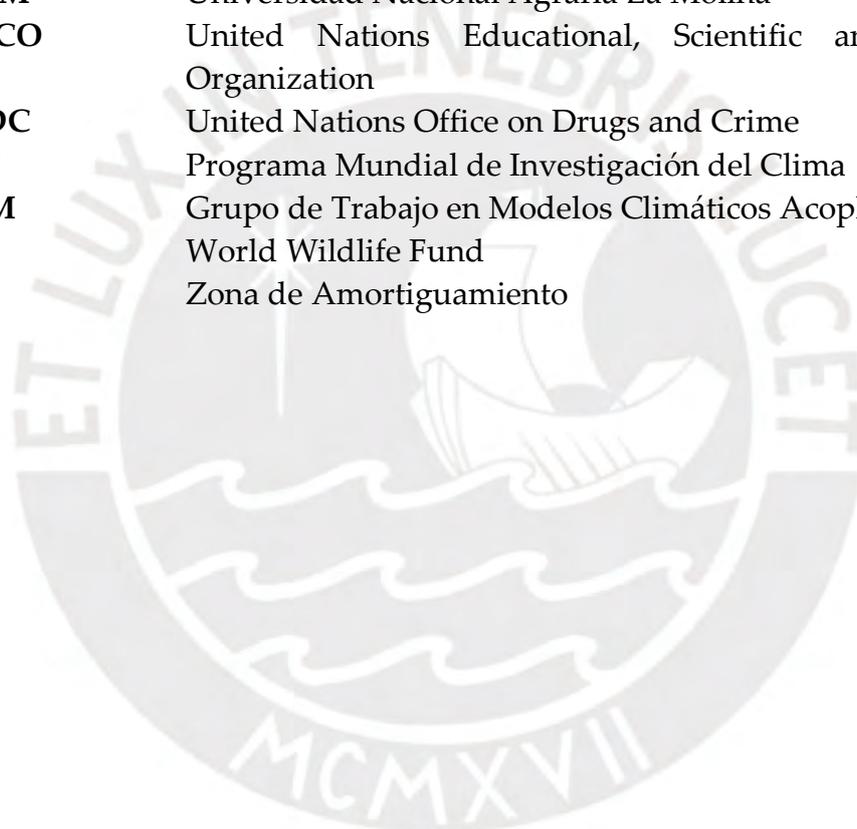
Mapa 5.1. Registros de presencia de <i>Cedrela odorata</i> L. en las regiones Huánuco, Junín y Pasco.....	83
Mapa 5.2. Ubicación de flora priorizada (2019).....	85
Mapa 5.3. Evolución potencial del área de mayor probabilidad (>0.788) de ocurrencia de cedro dentro del área de estudio, para el periodo 2020 – 2050.....	90
Mapa 5.4. Ámbitos controlados del Bosque de Protección San Matías San Carlos.....	93
Mapa 5.5. Trochas carrozables, senderos y ramales al interior del ANP-BPSMSC.....	94
Mapa 5.6. Actividades humanas al interior del BPSMSC.....	96



SIGLAS Y ACRÓNIMOS

ANP	Área Natural Protegida
AR5	Quinto Informe de Evaluación
AR6	Sexto Informe de Evaluación
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
ASTER	Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer
AUC	Área por Debajo de la Curva
BPSMSC	Bosque de Protección San Matías-San Carlos
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
CMIP	Proyecto de Intercomparación de Modelos de Clima Acoplados
CO₂	Dióxido de Carbono
CUM	Capacidad de Uso Mayor
DAP	Diámetro a la Altura del Pecho
DGFFS	Dirección General de Flora y Fauna Silvestre
EE.UU.	Estados Unidos de América
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
FECONAPU	Federación de Comunidades Nativas del Alto Purús
GBIF	Global Biodiversity Information Facility
GCM	Modelos de Circulación Global
GDEM	Global Digital Elevation Model
GEI	Gases de Efecto Invernadero
HadGem2-CC	Hadley Centre Global Environment Model version 2
HOXA	Herbario Selva Central Oxapampa
IBC	Instituto del Bien Común
INEI	Instituto Nacional de Estadística e Informática
INRENA	Instituto Nacional de Recursos Naturales
IPCC	Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático
JBPSMSC	Jefatura del Bosque de Protección San Matías - San Carlos
MDE	Modelamiento de Distribución de Especies
MIDAGRI	Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego
MINAM	Ministerio del Ambiente
OIMT	Organización Internacional de las Maderas Tropicales
ONG	Organización No Gubernamental
ONU	Organización de las Naciones Unidas
OSINFOR	Organismo Supervisor de los Recursos Forestales y de Fauna Silvestre
PCM	Presidencia de Consejo de Ministros
PEPP	Proyecto Especial Pichis Palcazú

PEA	Población Económicamente Activa
PEI	Población Económicamente Inactiva
PET	Población en Edad de Trabajar
PVC	Puestos de Vigilancia y Control
RCP	Trayectorias de Concentración Representativas
ROC	Curva de Característica Operativa Relativa
SERFOR	Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre
SERNANP	Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado
SNIFFS	Sistema Nacional de Información Forestal y de Fauna Silvestre
TFI	The Task Force on National Greenhouse Gas Inventories
UNALM	Universidad Nacional Agraria La Molina
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
UNODC	United Nations Office on Drugs and Crime
WCRP	Programa Mundial de Investigación del Clima
WGCM	Grupo de Trabajo en Modelos Climáticos Acoplados
WWF	World Wildlife Fund
ZA	Zona de Amortiguamiento



INTRODUCCIÓN

La Amazonía peruana abarca una superficie de más de 78 millones de hectáreas, representando el 60.9% del territorio nacional (Infobosques, 2009). Esta corresponde a una región aún muy poco conocida debido a su difícil acceso y enorme extensión, representando una condición de aislamiento de las poblaciones asentadas en el territorio amazónico. Por otro lado, las comunidades que aquí habitan se caracterizan por sus elevados índices de pobreza y la fuerte polarización social, lo cual se agrava debido a una débil presencia del Estado y una gestión ineficaz de los recursos naturales (Veyrunes, 2008).

En adición a ello, los bosques amazónicos están siendo afectados por distintos fenómenos, tanto antrópicos como naturales, que degradan la calidad de los servicios ecosistémicos que brindan a la población. Entre ellos se puede destacar el extenso y constante avance de la deforestación, el cual persiste en nuestro país debido a temas sociales, políticos y económicos; así como el cambio progresivo de las condiciones ambientales y una mayor frecuencia de eventos naturales extremos ocasionados como efectos del cambio climático.

La deforestación puede asociarse a diversos factores, entre ellos está el desarrollo de actividades económicas de aquellos sectores caracterizados por el desorden, la informalidad y la ilegalidad. Ello está estrechamente vinculado a una débil institucionalidad, la ausencia de mecanismos de supervisión y fiscalización (FAO, 2016a), y por el cambio de uso de suelo ocasionado por el avance de la frontera agrícola.

Entre los intentos del Estado peruano por proteger los bosques y demás áreas que poseen gran valor ya sea ecosistémico, paisajístico, biológico, cultural, científico, e incluso económico, se crearon espacios continentales y marítimos del territorio nacional reconocidos como Áreas Naturales Protegidas (ANP) (SERNANP, 2015). Dichas áreas poseen el objetivo de, finalmente, contribuir al

desarrollo del país mediante la conservación de los ecosistemas y el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales. Sin embargo, los problemas sociales, políticos y económicos que se gestaron en la Amazonía peruana desencadenaron una serie de problemáticas que afectarían gradualmente cada vez más la naturaleza de estas áreas protegidas, viéndose agudizados por un contexto climático global que empeoraría el panorama a futuro.

Es así que en la presente investigación se evalúa el caso de la distribución del cedro dentro del bosque de protección San Matías-San Carlos y su zona de amortiguamiento. Esto corresponde a una especie forestal de gran valor comercial en un área natural protegida que se ve amenazada por actividades antrópicas invasivas.

Esta especie forestal es categorizada por Pérez (2011) como la segunda más valiosa en América Latina y el Caribe, lo cual es el principal atractivo para su sobreexplotación por parte de los madereros ilegales, llegando a un punto en el cual esta actividad extractiva ha sobrepasado los límites. Los madereros ilegales buscan adentrarse en el ANP de forma cada vez más preocupante, puesto que es probable que el bosque residual ya no contenga una buena rentabilidad para realizar la extracción, ya sea por la carencia de especies necesarias o por falta del vigor o volumen de especies. Es por ello que estas personas buscan el recurso forestal en territorios cada vez más inaccesibles y prohibidos como lo es dentro del mismo bosque de protección (UNODC *et al.*, 2011).

Teniendo ello en cuenta, se determinó la distribución geográfica de la especie dentro del área de estudio tanto para un escenario actual como dos escenarios futuros, teniendo en cuenta predicciones climáticas categorizadas como intermedia y pesimista, para conocer cómo es que éstas repercutirán en la distribución futura de la especie. Para ello se empleará diversas herramientas

tales como información espacial y climática, modelos predictivos, mapas, entre otras.

Asimismo, se analizó el área deforestada actual en la zona de estudio identificando los sectores con mayor concentración de deforestación. De igual manera, se determinó el comportamiento de estas áreas a través de los años con el objetivo de identificar patrones y poder realizar una predicción que estime el área deforestada a futuro y su repercusión en la distribución del cedro.

Finalmente, con la información generada se estimó cuáles eran las zonas en donde es más probable encontrar presencia de cedro, así como se evaluó si es que éstas coinciden con aquellas zonas en donde existe mayor concentración de deforestación por presión antrópica. Asimismo, se podrá contar con una estimación sobre cuál sería la distribución futura de esta especie de acuerdo con dos escenarios climáticos.

Todo ello busca generar información valiosa que, eventualmente, pueda ser empleada por las autoridades competentes para contribuir a una gestión efectiva del territorio. Ello será un aporte para la generación de herramientas que busquen asegurar la conservación de esta especie forestal dentro del ANP a largo plazo.

I. PROBLEMÁTICA

Las características físicas y humanas del bosque amazónico generan una gran dificultad para asegurar la presencia del Estado en la totalidad del territorio. Ello expone su vulnerabilidad ante personas que buscan el aprovechamiento de la vasta cantidad de recursos que esta región ofrece, favoreciendo el desarrollo de actividades ilegales en su búsqueda por el enriquecimiento y como virtual alternativa para escapar de la pobreza.

El Estado peruano, en un esfuerzo para proteger estos espacios naturales de gran valor en biodiversidad y recursos como el suelo, agua y aire, crea en 1961 la

primera ANP: el Parque Nacional de Cutervo (Díaz *et al.*, 2012). Con el tiempo se irían incorporando nuevas ANP hasta que en 1987 se establece el Bosque de Protección San Matías-San Carlos (BPSMSC) en la provincia de Oxapampa, departamento de Pasco.

No obstante, el área resguardada dentro de esta zona protegida está siendo cada vez más afectada por la gran presión a la que está sometida debido al constante avance de actividades ilícitas. La deforestación por factores antrópicos es uno de los claros ejemplos de ello y que, además, ha demostrado un avance de 132122 hectáreas (ha) deforestadas anualmente en promedio del 2001 al 2021 (MINAM, 2022a).

Dentro de los objetivos referidos a las especies forestales del Plan Maestro del BPSMSC, se proyecta que para el año 2035 se deberá mantener la presencia de la especie forestal *Cedrela odorata* por lo menos en seis sectores del ANP. Ello debido a que es una especie calificada como de mayor presión de tala por su alto valor comercial y, por lo tanto, calificado como un elemento priorizado (SERNANP, 2015).

Los madereros ilegales buscan adentrarse en el ANP de forma cada vez más preocupante, puesto que es probable que el bosque residual ya no contenga una buena rentabilidad para realizar la extracción, ya sea por la carencia de especies necesarias o por falta del vigor o volumen de las especies. Es por ello que estas personas buscan el recurso forestal en territorios cada vez más inaccesibles y prohibidos como lo es dentro del mismo Bosque de Protección (UNODC *et al.*, 2011).

Los impactos ambientales de la deforestación a causa de tala ilegal son importantes: ocasiona degradación en la calidad biológica del ecosistema, pues al fragmentarse el bosque y presentar un efecto de borde acumulativo trae como consecuencia la pérdida de biodiversidad a nivel de paisaje, hábitats, diversidad

genética y especies (Infobosques, s/f). Efectos que siguen una dirección contraria a los objetivos de conservación que debe poseer esta área por formar parte de la Reserva de Biosfera Oxapampa-Asháninka-Yánesha. La apertura de caminos y nuevas áreas agrícolas mediante el sistema de tala, roce y quema de bosque por el incremento de asentamientos humanos en la zona, también representa otro de los tantos impactos.

Una de las medidas que se propone en el Plan Maestro del BPSMSC para impulsar el desarrollo económico dentro del ANP son las plantaciones de café. Según el marco normativo peruano, estas actividades sí están permitidas en cuanto no pongan en riesgo la cobertura vegetal del lugar por tratarse de un área protegida de uso directo. No obstante, esta medida implicaría un inminente cambio de uso de suelo en constante expansión, pues, aunque se produzcan bajo sombra, estos cultivos alteran severamente el bosque. Estas alteraciones ponen en duda acerca de la eficacia de esta estrategia en la mejora de la conservación del suelo por sobre la vegetación original. Así, entonces el problema es que en el Perú se ha aplicado a veces una interpretación *sui generis* al tema de la intangibilidad, lo cual conlleva a contradicciones en el mismo marco normativo vigente (Dourojeanni, 2018).

Adicionalmente a la deforestación y el cambio de uso de suelo, existe un fenómeno que amenaza con potenciar aún más los efectos negativos que estos ocasionarían en un futuro: el cambio climático. Este es un fenómeno que es atribuido directa o indirectamente por la actividad humana y ocasiona una variación en la climatología a una escala global. Se proyecta que esta variación generará eventos climáticos extremos con mucha más frecuencia, afectando a los ecosistemas del planeta debido al aumento de la temperatura mundial, la cual se calcula en alrededor de 1.1 °C más que a finales del siglo XIX (ONU, s/f).

Expertos alrededor del mundo buscan proyectar los probables impactos que este calentamiento global tendrá en el futuro, teniendo en cuenta diversos escenarios. Asimismo, se busca predecir los impactos ecológicos en los ecosistemas a nivel global, entre ellos, los bosques amazónicos y las especies que en ellos habitan. Específicamente, para la Amazonia se prevé un aumento de temperatura de hasta 7.5 °C en los próximos 60 años, así como cambios en las precipitaciones que afectarán negativamente a la biodiversidad (Fundación M.J. Bustamante de la Fuente, 2010).

II. JUSTIFICACIÓN

Conocer la distribución espacial de una especie forestal de gran valor económico dentro de un área protegida es necesario para determinar los efectos negativos que los factores antrópicos poseen dentro de un ANP. Además, ello se acentúa cuando la gestión por parte del Estado es insuficiente, sobre todo, si es que se trata de una zona de enorme valor ecosistémico como los bosques amazónicos, ya que poseen una inmensa riqueza en biodiversidad de flora y fauna.

De igual manera, el bioma amazónico provee de servicios ecosistémicos y posee un papel fundamental en el control de cambio climático a una escala global (CEPAL *et al.*, 2013). Es por ello por lo que también es preciso conocer la distribución espacial de especies forestales, teniendo en cuenta escenarios futuros de cambio climático considerando el avance de la deforestación en la Amazonia.

En este caso, la especie que se estudió, *Cedrela odorata L.*, es calificada por la Organización Internacional de las Maderas Tropicales (OIMT) como la segunda especie más valiosa de América Latina y el Caribe en términos de comercialización (Pérez, 2011). Como consecuencia, se encuentra sometida a una constante y gran presión de tala, por lo que debería mantenerse protegida en áreas designadas para ello.

Por otro lado, es preciso mencionar que el cambio de uso de suelo por parcelas agrícolas es un fenómeno que se ocasiona cuando el suelo forestal debe haber sido degradado por algún tipo de actividad antrópica como, por ejemplo, por extracción de madera insostenible o ilegalmente (FAO, 2016b). Ello reafirma la irreversibilidad de este tipo de suelos, pues, posteriormente a la extracción de la madera, el suelo cambia hacia un uso agrícola, comúnmente de café, ocasionando que la degradación sea permanente.

Es así que se pone en manifiesto la violación a la Ley N°26834 - Ley de Áreas Naturales Protegidas (1997), que indica que el objetivo de los bosques de protección es garantizar la protección de las cuencas altas y tierras frágiles contra la erosión, mientras que se permite el aprovechamiento de recursos y desarrollo de actividades que no generen riesgo a la cobertura vegetal. Si bien es cierto, los Bosques de Protección corresponden ANP de uso directo; sin embargo, se ha podido identificar un gran avance de la deforestación por tala ilegal y cambio de uso de suelo dentro de la zona de amortiguamiento e incluso dentro de la misma ANP, lo cual es un evento extremadamente preocupante por los mismos objetivos que esta área plantea cumplir dentro de lo estipulado en su Plan Maestro.

III. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

¿Cuál es la distribución espacial potencial de la especie forestal *Cedrela odorata* L. (cedro) dentro del Bosque de Protección San Matías-San Carlos y su Zona de Amortiguamiento en la actualidad?

¿De qué manera cambiaría la distribución espacial proyectada de *Cedrela odorata* L. (cedro) dentro del Bosque de Protección San Matías-San Carlos y su Zona de Amortiguamiento para el periodo 2041 – 2060, considerando dos escenarios futuros de cambio climático?

¿Qué zonas son las más afectadas por la deforestación dentro del Bosque de Protección San Matías-San Carlos y su Zona de Amortiguamiento en la actualidad?

IV. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Determinar la variación potencial del área de distribución espacial de la especie forestal *Cedrela odorata L.* (cedro) dentro del Bosque de Protección San Matías-San Carlos y su zona de amortiguamiento hacia el periodo 2041 – 2060, bajo un contexto de cambio climático y presión por actividades antrópicas.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar la distribución espacial potencial de *Cedrela odorata L.* (cedro) dentro del Bosque de Protección San Matías-San Carlos y su Zona de Amortiguamiento en la actualidad.
2. Determinar la distribución espacial potencial de *Cedrela odorata L.* (cedro) y su variación dentro del Bosque de Protección San Matías-San Carlos y su Zona de Amortiguamiento para el periodo 2041 – 2060, considerando dos escenarios de cambio climático.
3. Determinar las zonas de mayor presión de deforestación por actividades antrópicas en la conservación de la especie forestal *Cedrela odorata L.* (cedro) dentro del Bosque de Protección San Matías-San Carlos y su Zona de Amortiguamiento.

CAPÍTULO 1

MARCO CONCEPTUAL

El marco conceptual es una sección de todo documento de investigación que direcciona el camino a seguir del estudio realizado, pues constituye la base científica que sustentará la factibilidad de los objetivos y las preguntas de investigación, así como determinará el éxito o fracaso de cualquier estudio. Dentro de este proceso se exponen todas las teorías, enfoques, investigaciones y antecedentes que se consideren válidos para un correcto encuadre de la investigación a realizar (Rivera-García, 1998).

La construcción del marco teórico en la presente tesis incorpora conceptos que apoyan, mediante bases científicas y estudios previos de casos similares, la justificación de la problemática del tema de fondo a tratar. Adicionalmente, en capítulos posteriores se hace referencia a lo señalado en el presente capítulo para el análisis y discusión de los resultados.

1.1. MARCO TEÓRICO

Para poder entender a cabalidad los fundamentos científicos que respaldan los objetos de estudio se comenzará realizando una presentación de los conceptos fundamentales que se requieren para comprender correctamente los resultados de la investigación.

1.1.1. EL CEDRO (*CEDRELA ODORATA L.*)

La especie *Cedrela odorata L.* (comúnmente conocida como cedro o cedro colorado) pertenece a la familia botánica Meliaceae, la cual incluye otras especies forestales valiosas como la caoba. Es una especie arbórea de aproximadamente 35 metros de altura con un Diámetro a la Altura del Pecho (DAP) de hasta 1.7 m, posee la corteza externa agrietada con separación de 2 - 5 cm entre grietas, color marrón cenizo claro, la corteza interna exfoliable irregularmente en placas de

color rosado y crema pálido, hojas de 25 – 70 cm de largo y semillas de 2 – 3 cm de largo (MINAM, 2012b). Se estima que puede encontrarse en un rango altitudinal entre los 0 y 1500 msnm (SERFOR, 2020).

Figura 1.1. Cedro en el Jardín Botánico de Tingo María.



Fuente: MINAM (2012b). Fotografía de M. Machahua

Figura 1.2. Corteza externa del tronco de cedro en el Jardín Botánico de Tingo María.



Fuente: MINAM (2012b). Fotografía de M. Machahua

1.1.1.1. IMPORTANCIA COMERCIAL

Se caracteriza a esta especie como la segunda más valiosa en América Latina y el Caribe. Además, Pérez (2011) señala también que a partir del 2002 se apreció un aumento sustancial de las exportaciones y precios de madera aserrada de cedro, lo cual ocasionó una dinamización de la actividad comercial forestal de esta especie en los países de Bolivia, Brasil y Perú. Asimismo, identifica a los departamentos de Loreto, Ucayali y Madre de Dios como las principales regiones en las que se ubican las empresas procesadoras de cedro, participando con el 80% de la producción total.

De igual manera, Aguirre (2002) identifica a la madera del cedro como una de las maderas preciosas y de alto valor en los mercados a nivel internacional. Añade también que no posee restricciones del comercio internacional cuando proviene de plantaciones, mientras que ocurre lo contrario cuando su procedencia es del bosque natural.

En cuanto a actores públicos, el Servicio Forestal y de Fauna Silvestre – SERFOR del Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego – MIDAGRI, es la autoridad encargada de la gestión y administración de los recursos forestales. Por su parte, el Organismo Supervisor de los Recursos Forestales y de Fauna Silvestre – OSINFOR, adscrito a la Presidencia de Consejo de Ministros – PCM, es la autoridad que se encarga de supervisar y fiscalizar.

1.1.1.2. ESTADO DE CONSERVACIÓN Y BIOGEOGRAFÍA EN EL PERÚ

Siguiendo la categorización nacional de especies amenazadas de flora silvestre y bajo Decreto Supremo N°043-2006-MINAG (2006), la especie es declarada como Vulnerable (VU). Esta clasificación se otorga cuando la evidencia indica: una reducción en sus poblaciones, distribución geográfica limitada (<20000 km²), el tamaño de la población estimada es menor a 10000 individuos y bajo análisis

cuantitativo se evidencia una probabilidad de extinción en estado silvestre de 10% dentro de 100 años, como mínimo.

En marzo de 2008 y por Resolución Jefatural N° 076-2008-INRENA se publicó en el Diario Oficial El Peruano un periodo de diez años de veda para la extracción de las especies maderables caoba (*Swietenia macrophylla*) y cedro (*Cedrela odorata*) en las cuencas de los ríos Putumayo, Yavarí, Tamaya y el Purús; así como en otras áreas declaradas o por declararse mediante Decreto Supremo. Esto demuestra indicios de presión antrópica muy alta hacia la especie en zonas específicas de la Amazonia norte peruana, la cual, como se revisa en la presente tesis, ha venido extendiéndose hacia la Amazonia central.

Por otro lado, se estima que la distribución y densidad del género *Cedrela* en el Perú es 1.1 millones de árboles, en la cual *Cedrela odorata* es la especie predominante. Esta población equivale a más del triple de la población de caoba y presenta densidades de hasta 1.15 ejemplares/ha. Las regiones Loreto, Ucayali y Madre de Dios concentran alrededor del 75% de la población de cedro en el Perú (Perez, 2011).

Específicamente, dentro del Bosque de Protección San Matías-San Carlos (BPSMSC) según el Plan Maestro (SERNANP, 2015) se describe a *Cedrela odorata* L. como de carácter prioritario por tratarse de una de las especies de mayor presión antrópica por su alto valor comercial. Mientras que su presencia dentro del ANP se encuentra distribuida espacialmente sobre todo en los ecosistemas de selva alta, pero también en menor densidad en ecosistemas de selva baja.

1.1.2. PERTURBACIÓN Y FRAGMENTACIÓN DEL BOSQUE

Las perturbaciones que influyen en los ecosistemas pueden ser por causas de tipo naturales (eventos meteorológicos, deslizamientos, derrumbes, etc.) o antrópicas (reconversión de bosques para fines productivos, contaminación, extracción de

recursos maderables, etc.), o bien puede ser una combinación de ambas. La transformación del paisaje por la intervención antrópica puede modificar o amplificar los efectos de eventos naturales, alterando los ecosistemas y aumentando su vulnerabilidad (Mooney y Godron, 1983; Pickett *et al.* 1997 citados por Manson *et al.*, 2009).

Las perturbaciones naturales son eventos que modifican en el tiempo el ambiente físico, la funcionalidad y estructura de un ecosistema, comunidad o población de una o más especies (Pickett & White, 1985; White & Jentsch, 2001; citados por Castro, 2016). Siguiendo la misma línea, Manson *et al.* (2009) afirman que las perturbaciones forman parte de la dinámica de los ecosistemas y, de hecho, desempeñan un rol necesario para la evolución y el mantenimiento de la biodiversidad de estos.

Por otra parte, las perturbaciones naturales también están asociadas al concepto de fragmentación, el cual se refiere a la conformación de un mosaico de parches de distinto uso de suelo en donde cada fragmento presenta áreas con condiciones ambientales relativamente homogéneas a determinada escala (McGarigal *et al.*, 2002), pero heterogéneas entre sí.

La existencia de un ecosistema fragmentado conduce al aislamiento de las poblaciones de especies que se encuentran dentro de él. En consecuencia, se puede inducir a altas tasas de extinción y finalmente la reducción de la diversidad biológica (Gómez *et al.*, 2005) si es que la heterogeneidad de parches aumenta dentro de un paisaje específico a lo largo del tiempo. A dicha condición, la cual es causante de dispersión entre los parches que en algún momento estuvieron conectados directamente se le denomina en ecología teoría de la biogeografía de islas.

Particularmente, la fragmentación es un proceso clave para entender la relación entre el proceso de ocupación del suelo con la calidad de los bosques, pues una

de las repercusiones más interesantes son los cambios que se dan en el interior de estos fragmentos forestales con el paso del tiempo y en sus franjas exteriores, también conocidos como ecotonos o bordes. Esto se debe, principalmente, al “efecto de borde”, el cual supone la aparición de propiedades y dinámicas generadas por el contacto de estos fragmentos boscosos con la matriz externa que los rodea (Burel & Baudry 2002; Hilty *et al.*, 2006 citado por Granados *et al.*, 2014).

En cuanto a los impactos abióticos provocados por una fragmentación de bosque, los parches o fragmentos reciben mayor radiación solar, la humedad disminuye, el suelo cambia su composición y el viento tiene un mayor impacto en la vegetación. Por otro lado, existirán cambios en la fisiología y comportamiento de las especies implicadas, habrá cambios en el tamaño de la población, en la composición de las comunidades y en la estructura genética. Las especies pueden reaccionar de diferentes maneras: disminuyen drásticamente su número, se expanden rápidamente o bien su densidad no cambia en absoluto (Bruna, 2004 citado por Curatola, 2009). Este es un fenómeno que puede ocurrir tanto por causas naturales, como por factores externos que aceleran el proceso, ya sea por presiones antrópicas o eventos climáticos extremos.

1.1.2.1. PERTURBACIONES HUMANAS

Las perturbaciones de carácter antrópico en los bosques engloban la extracción selectiva, y muchas veces ilegal, de especies maderables, así como también el desarrollo de actividades agropecuarias, la caza furtiva, el crecimiento urbano e incluso los incendios forestales inducidos. Todos generan fuertes presiones hacia las zonas designadas para conservación como las Áreas Naturales Protegidas (Koyoc-Ramírez *et al.*, 2015).

1.1.2.1.1. DEFORESTACIÓN EN LA AMAZONÍA

En relación con los tipos de perturbaciones ambientales y fragmentación de los bosques, la pérdida de cobertura boscosa corresponde a uno de los más alarmantes indicadores de la presencia de actividades fragmentadoras del bosque en la Amazonía. Este proceso, también conocido como deforestación, afecta de manera negativa la estructura y el funcionamiento normal de los ecosistemas, e incluso puede ocasionar la pérdida local o regional de especies y de recursos genéticos. Además, puede desencadenar el aumento en la ocurrencia de plagas, la alteración de los procesos de formación y mantenimiento del suelo, alteración de los acuíferos y los ciclos biogeoquímicos, etc. (FAO, 1993; Trani y Giles, 1999 citado por Aguilar *et al.*, 2000).

Actualmente, en la Amazonia peruana se tiene evidencia de un aumento constante y preocupante de las áreas deforestadas desde hace más de 20 años, llegando a representar un total de 2936586 ha deforestadas durante este periodo, lo cual ha generado una emisión inconmensurable de carbono hacia la atmósfera. La deforestación en la Amazonia peruana, tan solo en el año 2020, fue de 203272 ha (UNODC *et al.* 2011; INEI, 2021).

Sin embargo, este escenario parece no encontrarse aún en vías de solución, ya que, según Smith *et al.* (2015), la Amazonía peruana fue incluida en la lista de la WWF de las principales 11 regiones con expectativas de presentar mayor deforestación y degradación de los bosques a escala mundial para el año 2030. Este fenómeno es causado, principalmente, por la agricultura a pequeña escala, minería comercial, construcción de vías y la tala ilegal. Añaden también que cerca de 2850 km² de bosques peruanos son talados anualmente, de los cuales el 80% es de manera ilegal.

1.1.2.1.1.1. TALA ILEGAL CON FINES COMERCIALES

La tala ilegal con fines comerciales es un problema mayúsculo y ha alcanzado a desarrollarse a una escala mundial según la ONU, pues afirma que el comercio

maderero ilegal global está valorizado en una cifra entre \$30 mil millones y \$100 mil millones anuales. Esto genera problemas socioeconómicos afectando directamente el precio de mercado de la madera y creando un ambiente desigual e injusto para las empresas legales. En los Estados Unidos, por ejemplo, la industria de productos de madera pierde hasta mil millones de dólares anualmente debido a la tala ilegal (Smith *et al.*, 2015).

En el Perú, estas prácticas tienen antecedentes que datan de, por lo menos, mediados del siglo XIX, cuando la extracción maderera empezó a desarrollarse en la Amazonía Norte y se fue acrecentando con la construcción de ejes viales que articulaban los territorios hacia la Amazonía Centro y Sur. En Ucayali, por ejemplo, ocurría un blanqueamiento de las maderas extraídas de forma ilícita, ya que se usaba el “método de los robles”, esto consistía en el aprovechamiento de los permisos de cambio de uso de suelo otorgados por la Dirección Forestal Regional. Dicho método significaba talar un terreno para hacerlo de uso agrícola, lo cual no ocurría y el maderero tenía la libertad de extraer madera de cualquier lugar y de cualquier especie y blanquearla (López, 2013 citado por Vergara *et al.*, 2014).

Un gran incentivo para los madereros ilegales es que se trata de un negocio altamente lucrativo, pues los costos, en general, son bajos y no existe ningún tipo de responsabilidad ambiental de por medio. Según Urrunaga *et al.* (2012), un solo árbol grande de caoba o de cedro pueden producir alrededor de 3 m³ de madera de calidad de exportación, lo cual está valorado en un aproximado de \$1700/m³ en caoba y \$1000/m³ en cedro, encontrando aún mejores precios en el mercado de EE. UU. En el cual los precios pueden ascender hasta en \$11000 y más de \$9000 respectivamente por árbol.

En el BPSMSC se han generado las condiciones para encontrar escenarios muy favorables para el desarrollo de esta actividad ilegal y que, efectivamente, sí se

han reportado varios casos de ocupaciones irregulares con falsificación de títulos de propiedad dentro del ANP, pues desde su establecimiento en el año 1987 hasta el 2008 el área jefatural del ANP estuvo prácticamente sin personal, debido a las grandes limitaciones presupuestales. Peor aún, desde su creación, el BPSMSC estuvo a cargo de la Unidad de Protección Ambiental del Proyecto Especial Pichis Palcazú – PEPP, dependencia que sí contaba con recursos económicos, pero que fue luego transferida a la Dirección General de Flora y Fauna Silvestre – DGFFS del Ministerio de Agricultura, el cual no disponía ni de personal ni de presupuesto asignado, por lo que tuvo que ser transferida nuevamente a la ONG FPCN (ProNaturaleza), pero nuevamente, en 1996 la gestión fue asumida por el INRENA-DGANP y el bosque pasa a ser administrado de oficio por la Jefatura del Parque Nacional Yanachaga Chemillén. De igual manera, la falta de compromiso que demostraban las autoridades locales, que además promovían la parcelación de la cordillera San Carlos con fines agrícolas, colocaban al bosque en una situación altamente vulnerable (García, 2012).

Los altos precios de estas especies de maderas en el mercado internacional, sumados al bajo riesgo para los ilegales debido a una presencia muy pobre del Estado justifican la inversión que implica la tala ilegal (Urrunaga *et al.* 2012). Sumado a ello, la constante expansión demográfica y apertura de nuevos caminos que otorgan una mayor accesibilidad a través de la Amazonia ocasiona que cada vez más personas se interesen por este tipo de actividades ilegales.

1.1.2.1.1.2. CAMBIO DE USO DE SUELO A PEQUEÑAS PARCELAS AGRÍCOLAS

El bosque amazónico es considerado como un sumidero de carbono global, pues se estima que este almacena alrededor de 120 Petagramos de carbono (Hilker *et al.*, 2014), lo cual equivale aproximadamente a 200 años de emisiones de CO₂ generados por el ser humano, demostrando lo fundamental de este ecosistema para equilibrar y mantener las condiciones adecuadas en la regulación climática

del planeta. No obstante, el cambio de uso de suelo en la Amazonia está modificando estas cifras, pues al deforestar los árboles se libera hacia la atmósfera el carbono acumulado mediante los procesos de descomposición o quema y, además, se interrumpe el proceso de fijación del carbono (Castaño, 2009).

Sobre todo, en países en vías de desarrollo la deforestación es consecuencia del cambio de uso de suelo en zonas agrícolas, lo cual, a su vez, es ocasionado por la gran presión demográfica hacia los recursos naturales (FAO, 1993 citado por Aguilar *et al.*, 2000). Asimismo, según el Global Green Growth Institute (2015), el 90% de la deforestación ocurre por aperturas de pequeñas parcelas menores a una hectárea con fines agropecuarios; en la selva alta, por ejemplo, se distingue el cultivo del café, con un 15% del área expandida sobre bosques.

En el Perú, una de las formas de conversión de tierras forestales en tierras agrícolas es mediante la ocupación de los caminos que dejan los taladores ilegales, quienes se adentran en el bosque en busca de las especies de mayor valor degradando el suelo a su paso. Esta práctica ocasiona que luego otras personas extraigan especies no tan valiosas, terminando con la degradación y llegando hasta la deforestación de los bosques convirtiendo ese suelo en un terreno agrícola, evitando así su recuperación y expandiendo cada vez más el área deforestada en la Amazonía (Urrunaga *et al.*, 2012).

Una de las estrategias incluidas en aras del desarrollo económico sostenible dentro de la Zona de Amortiguamiento y del BPSMSC, según el Plan Maestro del ANP, es la promoción de actividades relacionadas, principalmente, a sistemas agroforestales, silvopastura, acuicultura, plantaciones forestales y actividades agrícolas adecuadas al territorio. Específicamente, la adecuación y desarrollo de cultivos de café tanto en la ZA y el interior de la zona de aprovechamiento directo del BPSMSC, lo cual servirá para beneficiar a un gran número de familias asentadas en estas áreas (SERNANP, 2015). En contraste con esto, las técnicas de

adecuación de los cultivos de café como estrategia de desarrollo económico sostenible es un punto que genera controversia como ya se había hecho mención con anterioridad.

1.1.3. CAMBIO CLIMÁTICO

Otro tipo de perturbación que está afectando las condiciones ambientales de los hábitats en los que se desarrollan las especies es el fenómeno del cambio climático. Según la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (ONU, 1992), este es definido como aquella variación en el clima que está atribuido, ya sea de manera directa o indirecta, a las actividades del ser humano, las cuales alteran la composición de la atmósfera modificando las variaciones naturales del clima. Además, se señala que esta alteración en el clima global está estrechamente correlacionada con la emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI) a la atmósfera por la quema de combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas), observándose desde el siglo XIX una importante aceleración de este proceso. Asimismo, se ha observado que existe un aumento constante de las emisiones y, como resultado, una temperatura mundial 1.1 °C más elevada que a finales del siglo XIX (ONU, s/f).

Sin embargo, los efectos del cambio climático no solo se limitan a un aumento de la temperatura de la Tierra, sino que ello ocasiona impactos en los ecosistemas a nivel mundial. Estos impactos son representados por eventos climáticos extremos más frecuentes, alterando las condiciones propicias para que las diferentes especies se desarrollen con normalidad.

1.1.3.1. ESCENARIOS FUTUROS DE CAMBIO CLIMÁTICO

El concepto de cambio climático es relativamente reciente, pues no fue sino hasta finales de la década de 1970 que se comenzó a mostrar interés por investigar la relación que existía entre el incremento de la temperatura global observada y las

emisiones de dióxido de carbono (CO₂) a la atmósfera. En la década de 1980, tanto Estados Unidos como el Reino Unido elaboraron los primeros informes sobre un fenómeno de efecto invernadero a escala global ocasionado por el aumento de la presencia de estos gases en la atmósfera, alertando de posibles impactos climáticos catastróficos futuros (Compagnucci, 2011).

Es así como en 1988 se crea el Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), el cual corresponde a un organismo internacional creado en el marco de las Naciones Unidas. Este posee el objetivo de proveer a los tomadores de decisión a nivel mundial de informes con evaluaciones periódicas del cambio climático basadas en fundamentos científicos, sus posibles impactos y las opciones para la mitigación y adaptación a este fenómeno (García, 2016).

Estos informes son elaborados por cientos de científicos alrededor del mundo quienes participan de manera voluntaria mediante tres grupos de trabajo y un grupo especial. Estos son los siguientes: Grupo de Trabajo 1 – Bases científicas; Grupo de Trabajo 2 – Impactos, adaptación y vulnerabilidad; y Grupo de Trabajo 3 – Mitigación del cambio climático. Por otro lado, el Grupo Especial (The Task Force on National Greenhouse Gas Inventories (TFI)) se encarga de desarrollar y optimizar una metodología para la elaboración de inventarios de Gases de Efecto Invernadero (GEI) regionales (IPCC, s/f; García, 2016).

En el año 2014, el IPCC emite el Quinto Informe de Evaluación (5th Assessment Report – AR5), en el cual se exploran cuatro escenarios futuros de acuerdo con las emisiones acumuladas de CO₂. Estos escenarios están basados en la premisa de que el nivel de emisiones antropogénicas de GEI depende de las actividades económicas humanas, la demografía, el uso del suelo, la tecnología y, en general, del estilo de vida de los humanos en el planeta. Es en base a ello que se generan cuatro trayectorias de concentración representativas (RCP), las cuales describen

cuatro escenarios de emisiones y concentraciones atmosféricas de GEI para el siglo XXI.

Estas trayectorias incluyen un escenario de mitigación estricto (RCP 2.6), dos escenarios intermedios (RCP 4.5 y RCP 6.0) y, finalmente, un último escenario con un nivel muy alto de emisiones de GEI (RCP 8.5). Según el AR5 del IPCC (2014), si es que se mantienen las condiciones actuales sin generar mayores esfuerzos para limitar las emisiones hacia finales del siglo, es muy probable que el escenario que el planeta afronte se situará entre el RCP 6.0 y RCP 8.5.

El mismo informe señala que es probable que para finales del siglo XXI (2081 - 2100) la temperatura haya aumentado de 0.3 °C a 1.7 °C en el escenario RCP 2.6; de 1.1 °C a 2.6 °C en el escenario RCP 4.5; de 1.4 °C a 3.1 °C en el escenario RCP 6.0; y de 2.6 °C a 4.8 °C en el escenario RCP 8.5. Por otro lado, los escenarios contemplados en los informes de la IPCC están basados en complejos modelos climáticos que buscan simular las condiciones futuras y, así, predecir las condiciones climáticas para un periodo específico. Estos modelos son conocidos como los Modelos de Circulación Global (GCM) y buscan representar cuantitativamente la dinámica atmosférica y de la circulación global alrededor del planeta (Jáuregui, 2003 citado por Manzanilla *et al.*, 2018).

Más específicamente y en el marco de estos Modelos de Circulación Global (GCM), el Grupo de Trabajo en Modelos Climáticos Acoplados (WGCM) en coordinación con el Programa Mundial de Investigación del Clima (WCRP) han desarrollado desde 1995 el Proyecto de Intercomparación de Modelos de Clima Acoplados (CMIP) en diferentes fases. Este proyecto busca mejorar cada vez más nuestro entendimiento del clima, su variabilidad y el cambio climático a través de la aplicación de modelos globales del sistema climático. En 2008, se acordó en promover el desarrollo de la fase cinco de este proyecto, cuyos resultados se emplearon finalmente en contribución a los cuatro escenarios descritos en el

Quinto Informe de Evaluación (AR5) del IPCC completado en el 2014 con un informe de síntesis (Taylor *et al.*, 2012; García, 2016).

En el 2015 empezó el desarrollo del Sexto Informe de Evaluación (AR6), el cual se ha publicado finalmente en 2021. Este nuevo informe generó nuevos escenarios y ajustó los descritos en el AR5. Sin embargo, aún se está trabajando en los documentos complementarios, por lo que se espera que se complete a finales de 2022 o inicios de 2023 (IPCC, s/f).

Los resultados de los modelos climáticos del CMIP5 sí se encuentran totalmente disponibles para su uso libre a través de portales web como WorldClim (Hijmans *et al.*, 2005) o Chelsa Climate (Karger *et al.*, 2017). Ambos recopilan el conjunto de datos climáticos reducidos (downscaled) y a una muy alta resolución espacial (30 arco segundos o 1 km² en el ecuador, aproximadamente).

WorldClim ofrece datos climáticos históricos en un periodo desde 1970 – 2000. Estos incluyen datos mensuales de temperatura mínima, media y máxima, precipitación, radiación solar, velocidad del viento, presión de vapor de agua y precipitación total, así como 19 variables bioclimáticas (Fick *et al.*, 2017). Además, ofrece también los datos climáticos futuros empleados en el AR5 del IPCC (CMIP5) y los últimos resultados de la fase 6 del Proyecto de Intercomparación de Modelos de Clima Acoplados (CMIP), pero estos últimos aún a una resolución gruesa de 2.5 arco minutos (aproximadamente 4.625 km²).

Por su parte, Chelsa ofrece también datos climáticos históricos, pero posee registros más recientes: de 1981 – 2010. Similar a WorldClim, incluyen datos mensuales de temperatura mínima, media y máxima, precipitación, radiación solar, velocidad del viento, presión de vapor de agua y precipitación total (Karger *et al.*, 2021), así como las mismas 19 variables bioclimáticas que son de interés para la presente investigación.

1.1.3.2. EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS ECOSISTEMAS AMAZÓNICOS

La Amazonia desempeña un rol clave en la regulación climática global debido a una serie de beneficios que genera al actuar, por ejemplo, como un gigantesco consumidor de calor absorbiendo la mitad de la energía solar que llega a la Tierra. De igual manera, representa una reserva gigante de carbono, influye en las grandes corrientes oceánicas que regulan el sistema climático a nivel mundial debido a las enormes cantidades de agua que drena hacia el Océano Atlántico, influye también en las lluvias debido al aporte de la evapotranspiración en la formación de las nubes, entre otras (Nepstad, 2007 citado por Fundación M.J. Bustamante de la Fuente, 2010).

Según el Quinto Informe de Evaluación (AR5) del IPCC (2014), para la región amazónica, los efectos del cambio climático estarán enmarcados en un aumento de la temperatura de hasta 7.5 °C para 2080, cambios de los patrones de precipitación regulares y el incremento de eventos extremos. Esto ocasionará severos impactos como la pérdida de biodiversidad y extinción de especies en la región a causa de un fenómeno de sabanización (cambio de una cobertura arbórea a una cobertura herbácea) de ciertos sectores de la Amazonia debido a las sequías. De manera similar, ocasionará como cambios en el régimen hidrológico, aparición de nuevas enfermedades e impactos socioculturales que alterarán las actividades económicas principales y el uso del suelo (Fundación M.J. Bustamante de la Fuente, 2010).

1.1.3.3. VULNERABILIDAD DE ESPECIES ARBÓREAS AL CAMBIO CLIMÁTICO

Especialmente para las especies vegetales, el clima es uno de los factores que afecta directamente su distribución. Estas poseen un grado de tolerancia a los factores ambientales que, al ser excedido, podría comprometer su óptimo desarrollo en un ecosistema específico, a tal punto de generar la migración de las

especies a lo largo de los años, e incluso podría ocasionar su desaparición (Gutiérrez *et al.*, 2014).

La condición de sumidero de carbono global del bosque amazónico es afectada por las modificaciones en las condiciones climáticas y la más frecuente ocurrencia de eventos extremos. Las sequías, por ejemplo, elevan la mortalidad de los árboles, lo cual genera la liberación de carbono a la atmósfera. Como consecuencia de las sequías prolongadas, se generan las condiciones para una mayor probabilidad de incendios forestales y así se ocasiona una cadena de eventos ocasionada por la alteración de las condiciones climáticas del bosque amazónico (Castaño, 2009).

El cambio climático, al tratarse de un fenómeno global, afecta también los ecosistemas amazónicos, ocasionando impactos en la flora y fauna que en ellos habitan. No obstante, según Calvo (2014), actualmente existe evidencia limitada de la interrelación entre variación de la biomasa en la Amazonia con el aumento de CO₂ en la atmósfera, por lo cual no es permisible afirmar con certeza que la disminución del bosque amazónico se deba directamente al incremento de los GEI ocasionado por una influencia antropogénica.

La presente investigación contribuye en la generación de información nueva de una potencial relación entre dos escenarios de cambio climático, ocasionado por el aumento de los GEI en la atmósfera, y la distribución geográfica de una especie forestal en el bosque amazónico. Ello mediante la generación modelamientos cuyos resultados son representados en mapas para su posterior análisis y discusión.

1.1.4. MODELAMIENTO DE DISTRIBUCIÓN DE ESPECIES (MDE)

Los seres vivos que habitan en el planeta interactúan constantemente. Estas interacciones se dan tanto con otros seres vivos, como con el medio en el que

viven y se desarrollan. En este se genera un intercambio constante de materia con el agua de la hidrósfera, de nutrientes con la litósfera y de gases con la atmósfera. Además, dependen de la energía que provee el Sol y de las condiciones climáticas, pues afectan su funcionamiento. Esta dinámica determina las propiedades de los niveles de organización de los individuos, las poblaciones, las comunidades y las especies en general (Valverde *et al.*, 2005), y, en consecuencia, su distribución en los distintos ecosistemas del planeta.

La importancia de conocer la distribución geográfica de las especies es debido a que corresponde a una herramienta útil para el monitoreo de su variación a través del tiempo. Ello permitirá generar proyecciones y contribuir con las autoridades en proveer de aquellos insumos necesarios para asegurar una adecuada toma de decisiones en pro de la conservación de la diversidad biológica y el desarrollo sostenible de una zona en particular.

Según Sánchez-Cordero *et al.* (2001), evitar la pérdida de diversidad biológica debe ser una prioridad, pues las especies son irrecuperables y su pérdida irreversible. Además, esta afecta a todo el ecosistema y, en consecuencia, tiene repercusión en los servicios ecosistémicos que la naturaleza brinda al ser humano.

Teniendo esto en consideración y para poder conocer la distribución geográfica de las especies es posible emplear diversas herramientas y metodologías, entre las cuales, la más utilizada en los últimos 20 años debido a su alta confiabilidad y robustez es el Modelamiento de Distribución de Especies (MDE). Dicha herramienta biogeográfica establece relaciones estadísticas entre la distribución conocida de la especie a estudiar y variables ambientales que delimitan las condiciones ambientales favorables para la presencia de una especie (Guisan *et al.*, 2000; Mateo *et al.*, 2011; Peterson y Lieberman, 2012; Elith *et al.*, 2019; Franklin, 2019; citado por Timaná *et al.*, 2016).

Esta corresponde a una metodología que permite realizar múltiples tipos de análisis. Entre ellos destaca el análisis de la variación del área de distribución espacial de una especie en respuesta al cambio climático, el cual emplea comparaciones de modelos multitemporales generados mediante el modelamiento a través del software Maxent (Phillips *et al.*, 2006; Timaná *et al.*, 2016).

1.1.4.1. MAXENT

Maxent es un software libre para el MDE cuyo nombre está inspirado en el principio estadístico de Máxima Entropía, en el cual está basado. Este utiliza un algoritmo determinístico para estimar la probabilidad de distribución más apropiada, prediciendo la ocurrencia de especies al encontrar la distribución que está cercana a la uniforme (maximizando la entropía de distribución bruta y minimizando la entropía relativa), y considerando, a la vez, los límites de las variables ambientales (Elith *et al.*, 2011; Biodiversity and Climate Change Virtual Laboratory, 2021).

Según la literatura, y aunque existen diferentes métodos basados en distintas técnicas estadísticas, dicha herramienta se identifica como el método con los resultados más robustos y precisos para el Modelamiento de Distribución de Especies. Además, cuenta con la ventaja de generar resultados precisos aún si es que se cuentan con muestras pequeñas de datos de presencia (Phillips *et al.*, 2006; Fundación Naturaleza para la Vida, 2010).

1.2. ANTECEDENTES

En este subcapítulo se identifican estudios previos en los cuales se han realizado análisis empleando los conceptos y/o la metodología que se utilizó para la presente tesis. Además, se incluyó casos cuya área de estudio tenga características similares a la de la presente tesis. Es decir, que se traten de áreas protegidas y/o ecosistemas boscosos.

1.2.1. ESTUDIOS PREVIOS EN EXTRACCIÓN ILEGAL DE MADERA EN ANP

Entre los estudios revisados se encuentra el texto de Fagan *et al.* (2005) “Una Investigación de la Extracción Ilegal de Madera en el Parque Nacional Alto Purús y Alrededores”. Esta publicación analiza los elementos que intervienen en la problemática que permite que se realice la extracción de madera ilegal dentro de un Área Natural Protegida en la Amazonia peruana, específicamente en el Parque Nacional Alto Purús en Madre de Dios. Esta investigación es clave para poder comprender las condiciones que generan esta problemática, de las cuales algunas se pueden observar también en el Bosque de Protección San Matías-San Carlos.

El estudio se centra en la relación que existe entre la extracción de madera de Caoba (*Swietenia macrophylla*), las comunidades indígenas y la biodiversidad del parque. Se identifica que esta extracción se da gracias al gran valor comercial que tiene la especie y al nulo monitoreo de las actividades madereras en territorios titulados y en las concesiones madereras adyacentes al parque. Esta carencia permite que los madereros ilegales actúen con impunidad: un escenario bastante similar al del Bosque de Protección San Matías-San Carlos. Es así como se concluye que “el futuro del Alto Purús como un área protegida viable (...) depende de un estricto control en los bordes del parque y de un monitoreo cuidadoso de las operaciones madereras en los territorios adyacentes” (Fagan *et al.*, 2005).

Para finalizar, se plantean algunas recomendaciones que se centran en acciones tales como: el retiro de los madereros ilegales, la construcción de puestos de control, la mejora en la fiscalización y monitoreo de los accesos al ANP mediante comités locales, la creación de campañas publicitarias de concientización, entre otras. La variedad de las acciones recomendadas confirma que debido a la

complejidad de este tipo de problemáticas deben ser atendidos desde distintas perspectivas y con el involucramiento de diversos actores.

De igual manera, otro estudio realizado por Martínez *et al.* (2007): “Pérdida de la cobertura forestal en el ANP Lagunas de Zempoala”, se enfoca en los impactos de la tala ilegal sobre los recursos de agua, flora, fauna y suelo de esta ANP en México. Ello ha llegado a un grado tal que ha ocasionado que dicha zona se convierta en una de las nueve zonas críticas de ingobernabilidad en ese país, identificadas por la Procuraduría Federal del Protección al Ambiente para la atención de la tala clandestina.

Al igual que el anterior estudio, esta zona también está caracterizada por la insuficiencia de recursos humanos y materiales de las instituciones de protección ambiental, así como la falta de coordinación entre las instancias de procuración de justicia y seguridad pública federal, estatal y municipal. Por lo tanto, como consecuencia, ha ocasionado que la tala clandestina se convierta en uno de los fenómenos delictivos que rebasa la capacidad de actuación de las instituciones gubernamentales.

Es así como se puede identificar algunas condiciones comunes, independientemente del país del que se trate, las cuales generan que se desarrollen este tipo de actividades ilegales. Asimismo, se pueden tomar en cuenta las medidas de solución que se recomiendan para adaptarlas al caso del Bosque de Protección San Matías-San Carlos.

1.2.2. ESTUDIOS PREVIOS EN PATRONES DE DISTRIBUCIÓN DE ESPECIES FORESTALES EN ZONAS BOSCOSAS PERTURBADAS

Con respecto a estudios sobre el tema de patrones de distribución de especies forestales en zonas boscosas perturbadas, se revisó la tesis de licenciatura en geografía y medio ambiente de Curatola (2009): “Patrones de distribución espacial de *Triplaris americana* en Tambopata, Perú”. Este documento aporta en la

presente investigación al proporcionar de un mejor entendimiento acerca de las herramientas que se utilizan para la identificación de patrones de distribución de especies forestales amazónicas, así como el establecimiento de la variabilidad espacial de las características físicas de la especie de interés. Asimismo, es útil para poder realizar un acercamiento hacia la comprensión de la importancia que posee la especie, en este caso *Cedrela odorata*, en el ecosistema dentro de un Área Natural Protegida y el efecto que ésta posee debido a la condición de constante reducción y fragmentación debido a actividades como tala ilegal y cambio de uso de suelo.

El estudio realizado por Granados *et al.* (2014) sobre el “efecto de borde en la composición y en la estructura de los bosques templados. Sierra de Monte-Alto, Centro de México” también representa una fuente de apoyo extra para poder comprender las características que poseen las especies forestales que se encuentran dentro de los parches en un ecosistema boscoso fragmentado. Al respecto, se señala que está demostrado que los cambios en la composición vegetal afectan de manera directa la estructura de las comunidades de borde, principalmente su abundancia y densidad de individuos (Murcia 1995, Cayuela 2006, Salek *et al.*, 2013 citados por Granados *et al.*, 2014).

1.2.3. ESTUDIOS PREVIOS EN MODELAMIENTO DE DISTRIBUCIÓN DE ESPECIES (MDE) FORESTALES CON MAXENT

Existen múltiples casos de Modelamiento de Distribución de Especies empleando la herramienta Maxent, pues corresponde a la metodología más robusta para la generación de proyecciones de distribución geográfica teniendo en cuenta las condiciones ambientales en la que la especie de interés se desarrolla. Es por ello que se identificaron estudios de casos en donde se aplicó el software Maxent con especies de características similares a la analizada en la presente tesis con el objetivo de validar la metodología empleada.

Cotrina Sánchez *et al.* (2020) generó un modelamiento del área de distribución potencial de 10 especies maderables en la región de Amazonas (Perú) empleando Maxent. Dicha investigación buscó atender la importancia de generar este tipo de evidencia para entender la severidad de la pérdida de cobertura vegetal y de las especies maderables, las cuales se ven profundamente amenazadas en este ecosistema, e identificar áreas prioritarias para la conservación y restauración del bosque.

Para el modelamiento se empleó un total de 4454 registros de ocurrencias y 26 predictores ambientales. Entre los resultados se destacó que la variable más influyente en la distribución de las especies estudiadas fue la altitud. Asimismo, se evidenció que nueve de las diez especies están distribuidas por debajo de los 1000 msnm y que la especie *Cedrela montana* es la única que se encuentra distribuida por encima de los 1500 msnm y que, además, cubre el 40.68% del área total.

También se han realizado modelamientos que proyectan la distribución futura de especies de acuerdo con las condiciones climáticas que se prevén para distintos escenarios. Laurente (2015), generó dos proyecciones sobre la distribución de *Cedrela odorata* L.: hacia los años 2050 y 2070, tomando en cuenta cuatro escenarios de cambio climático generados en el Quinto Informe de Evaluación (AR5) del IPCC (RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0 y RCP 8.5), a nivel de toda la Amazonia peruana. Se emplearon un total de 1277 puntos de ocurrencia, 19 variables bioclimáticas extraídas del portal web WorldClim, una variable altitudinal y una variable de uso de suelo.

Entre los resultados se obtuvo que la especie en mención tendría un impacto severo, pues reduciría en un 53% el área de distribución geográfica para los cuatro escenarios proyectados hacia el 2050. De manera similar sucedería para las proyecciones al 2070, con la diferencia que para el escenario más pesimista

(RCP 8.5) el impacto sería menor, pues se reduciría considerablemente el área de impacto severo.

Sin duda, este tipo de estudios contribuyen como herramientas para el diseño e implementación de medidas en pro de la conservación y restauración de los bosques amazónicos por parte de las autoridades, y, en consecuencia, para una gestión sostenible de los ecosistemas. Es así como la presente tesis busca sumar a la generación de dichas herramientas y, así, contribuir a la conservación de los ecosistemas boscosos en el Perú.



CAPÍTULO 2

ÁREA DE ESTUDIO

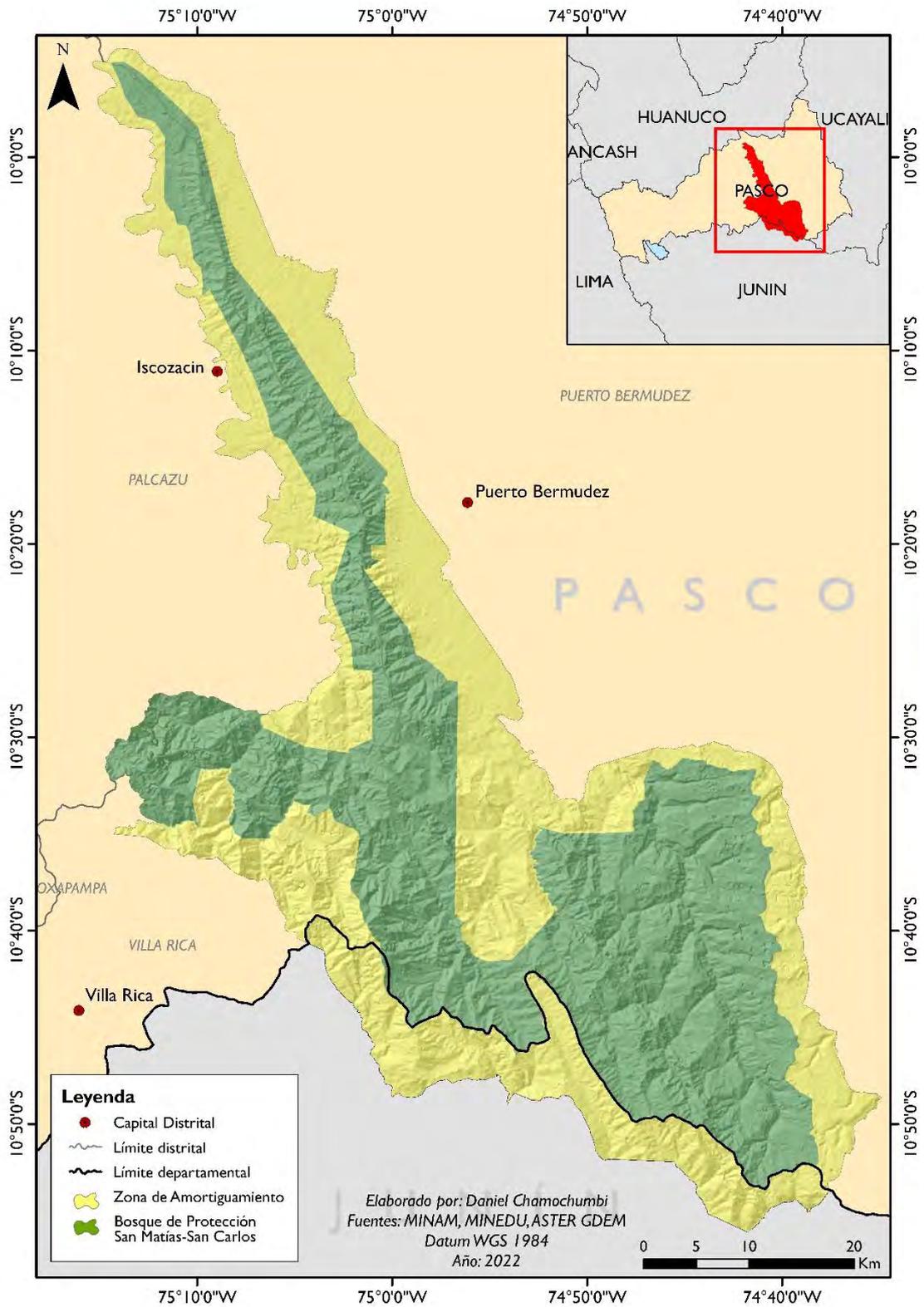
En el presente capítulo se realiza una caracterización de aquellos aspectos ambientales y sociales que ocurren dentro de la zona estudiada y que poseen relevancia en las dinámicas analizadas posteriormente. Además, es necesario incluir una descripción de las características que posee esta área, pues se trata de una zona de gran interés tanto para el Estado como por instancias internacionales.

2.1. UBICACIÓN

El territorio del Bosque de Protección San Matías-San Carlos comprende los distritos de Puerto Bermúdez, Constitución, Palcazú y Villa Rica, en la Provincia de Oxapampa, región Pasco. Abarca un rango altitudinal de entre los 300 y 2250 msnm. Esta ANP recibe su nombre por las dos cordilleras ubicadas en su interior: San Matías por el norte y San Carlos por el Sur (SERNANP, 2015).

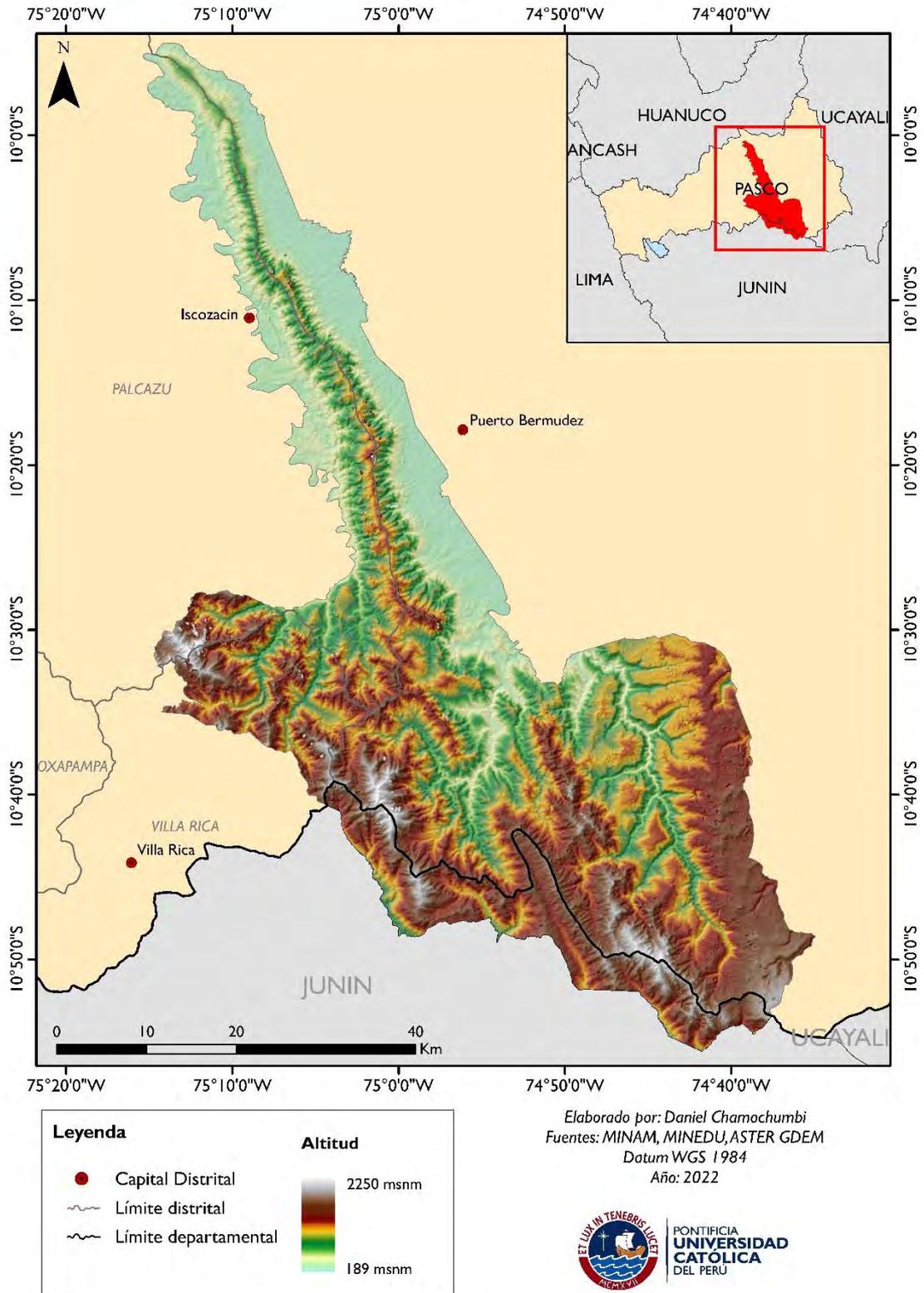
El área del Bosque de Protección San Matías-San Carlos asciende a 145818 ha, mientras que el área de su zona de amortiguamiento a 130629.42 ha aproximadamente, sumando un área total de 276447.42 ha como zona de estudio de la presente investigación.

Mapa 2.1. Ubicación del Bosque de Protección San Matías-San Carlos.



Elaboración propia

Mapa 2.2. Rango altitudinal del Bosque de Protección San Matías-San Carlos y su Zona de Amortiguamiento.



Elaboración propia

2.1.1. CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS

Dentro del Bosque de Protección San Matías-San Carlos se encuentran hasta tres de las ocho regiones naturales del Perú (Pulgar, 2014; Beraún *et al.*, 2016): la región Yunga (yunga fluvial para la parte oriental del Perú), de 1000 a 2500 msnm; la región Rupa-Rupa o selva alta, de 400 a 1000 msnm; y la región Omagua o selva baja, de 80 a 400 msnm. Por otro lado, con respecto a la clasificación por ecorregiones en el Perú, el territorio abarcado en el área de estudio corresponde a las ecorregiones de Yungas Peruanas, entre 1100 y 2250 msnm, y de Bosque Húmedo de Ucayali, entre los 300 y 1100 msnm. Las ecorregiones, a diferencia de las regiones naturales, son unidades geográficas en donde se integran mayores variables ambientales que definen a las especies que habitan en ellas, pues todas estas comparten el mismo clima, vegetación, geología, entre otros. (UNALM *et al.*, 2006).

La selva baja está ubicada en el llano subandino y posee una variación de temperatura diaria relativamente grande, pero con leves diferencias anuales (Lamprecht, 1990 citado por MINAM, 2015). A su vez, está representada por bastas formaciones boscosas caracterizada por contar con una gran riqueza de especies. Además, soporta precipitaciones desde 1000 hasta cerca de 4000 mm anuales y una temperatura media anual por encima de los 24 °C. Geológicamente, forma parte del antearco amazónico, caracterizado por presentar acumulación de los depósitos fluviales (Kalliola *et al.*, 1993). Adicionalmente, los bosques de selva baja representan la más extensa región boscosa del país y se subdividen en diversos tipos de bosques que incluyen los Bosques inundables, Bosques húmedos de terrazas, Bosques húmedos de colinas, Aguajales y Pacales (MINAM, 2010).

El bosque de selva alta, también conocidos como las Yungas Peruanas según Tovar *et al.* (2010), geomorfológicamente es accidentado y presenta cordilleras,

colinas y valles de poco ancho y de gran longitud. Esta región natural representa aproximadamente el 27% del total del territorio del país (Rodríguez, 1995). En adición a ello, estos ecosistemas adquieren la categoría de muy importantes, debido al rol que desempeñan para la conservación de la diversidad biológica y el mantenimiento de los procesos ecológicos, teniendo en su territorio formaciones vegetales con una alta diversidad y endemismos. Estos bosques han disminuido su extensión debido a la acción antrópica (MINAM, 2012a).

2.2. ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS – ANP

Las áreas naturales protegidas son porciones del territorio dedicados al mantenimiento y protección de la biodiversidad, los recursos naturales y los recursos culturales (UNALM, 1995). Estas están bajo la supervisión del Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado – SERNANP, adscrito al Ministerio del Ambiente – MINAM, y cuentan con un sistema normativo e institucional dirigido a tutelar su conservación a perpetuidad. Para el año 2022, en el Perú existen un total de 250 ANP distribuidas en el océano, costa, sierra y selva y representando un 25.66% del total del territorio nacional, aproximadamente (MINAM, 2022b).

Se estableció una subdivisión de nueve categorías en el Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas, cada una con sus propios objetivos específicos, entre las cuales se encuentran los Bosques de Protección (Ley de Áreas Naturales Protegidas N° 26834, 1997). Es preciso destacar que las ANP tienen un respaldo legislativo dentro del cual se puede resaltar el reconocimiento de las categorías de usos directo e indirectos dentro de los diferentes tipos de ANP correspondientes al tipo de explotación que puede existir dentro del área.

Las áreas de uso indirecto son aquellas que sí permiten la investigación científica, actividades recreativas y turismo en zonas designadas. Sin embargo, en estas no se permite la extracción de recursos naturales, ni ningún tipo de modificación del

ambiente natural. Por otro lado, las áreas de uso directo son aquellas que permiten el aprovechamiento de recursos, prioritariamente por las poblaciones locales y zonas definidas por un plan de manejo. Los Bosques de Protección poseen esta segunda categoría.

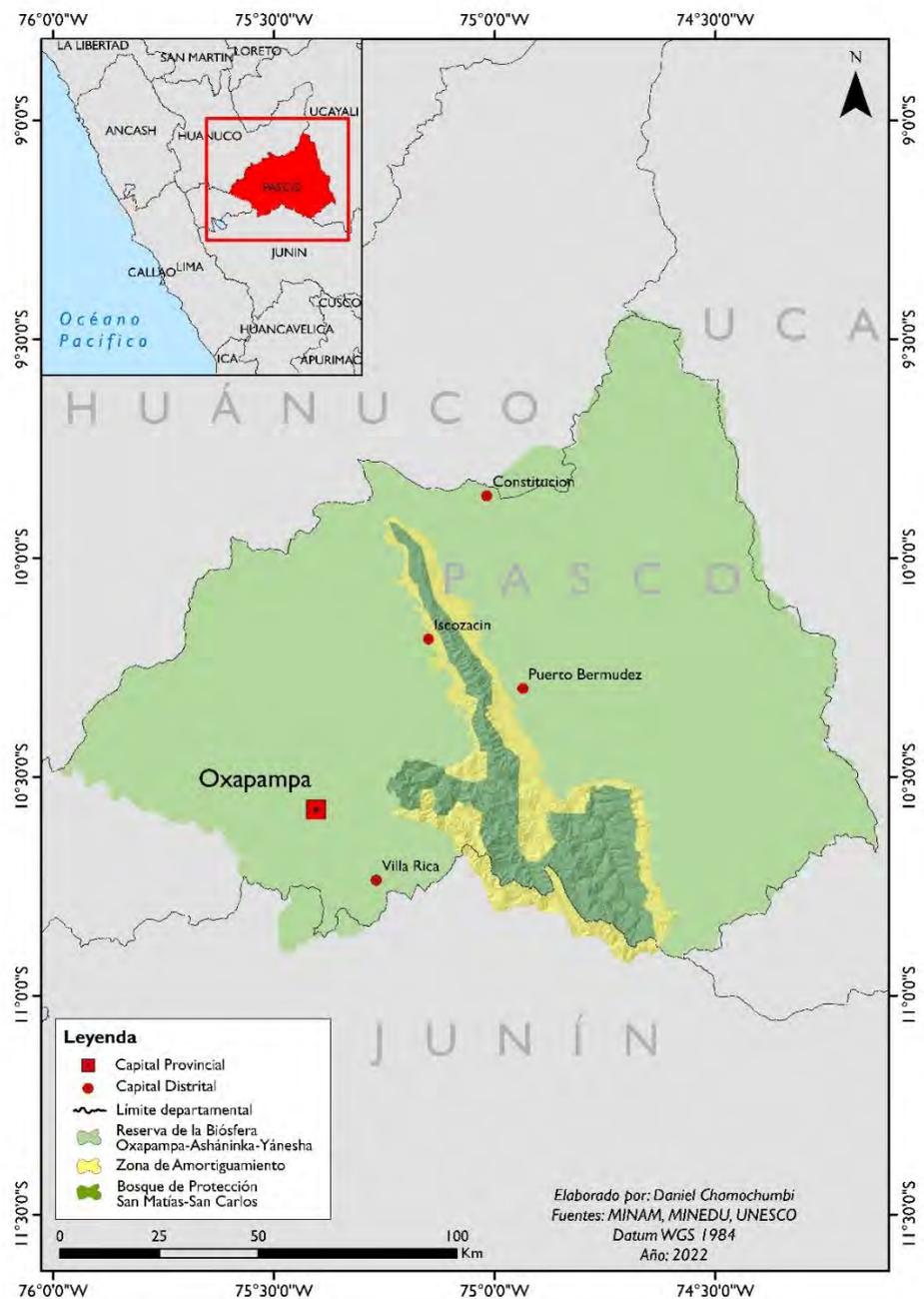
Todas las ANP deben contar con un Plan Maestro. Este se constituye como el documento oficial de planificación de más alto nivel con que cuenta un ANP y que define, por lo menos, la zonificación, estrategias y políticas generales para la gestión del área, la organización, objetivos, planes específicos requeridos, programas de manejo y los marcos de participación relacionada al área y sus zonas de amortiguamiento. Así como también deberá contar con una zonificación interna (Calle *et al.*, 2007).

Otro aspecto importante es la zonificación dentro de estas ANP. Según Calle *et al.* (2007) esta debe ser contemplada dentro del Plan Maestro como una herramienta de planificación y que responde a las características y objetivos de manejo del ANP. Específicamente, en el área de estudio se distinguen las siguientes zonas: zona silvestre (S), zona de aprovechamiento directo (AD) y zona de uso especial (UE).

2.3. RESERVA DE LA BIOSFERA OXAPAMPA-ASHÁNINKA-YÁNESHA

El Bosque de Protección San Matías-San Carlos posee, además de los objetivos propios como ANP, objetivos enmarcados en la conservación de la diversidad biológica de su territorio, pues pertenece, además, a la Reserva de la Biosfera Oxapampa-Asháninka-Yánesha desde el 2010 cuando fue oficialmente reconocida por la UNESCO. Las Reservas de Biosfera son consideradas como un instrumento eficaz para la aplicación de proyectos de conservación y uso sostenible de los recursos, para el desarrollo de programas científicos y para la gestión integrada de los recursos naturales (UNESCO, 2010).

Mapa 2.3. Ubicación de la Reserva de la Biosfera Oxapampa-Asháninka-Yánesha.



Elaboración propia

Estas reservas cumplen tres funciones integralmente: 1. velan por la conservación de la biodiversidad y la diversidad cultural; 2. promueven el desarrollo económico sociocultural y ambientalmente sostenible y 3. ofrecen apoyo logístico a la investigación, el monitoreo, la educación ambiental y la formación. De igual

manera, cuentan con una adecuada zonificación y destacan la importancia de la participación activa de las comunidades locales como las autoridades responsables de la planificación y gestión del territorio (UNESCO, 2010).

2.4. BOSQUE DE PROTECCIÓN SAN MATÍAS-SAN CARLOS – BPSMSC

Los Bosques de Protección corresponden a áreas intangibles cuyos propósitos se orientan a la conservación de los suelos y las aguas para proteger tierras agrícolas, infraestructura vial, centros poblados y garantizar el abastecimiento del recurso hídrico para consumo humano, agrícola e industrial. Por otra parte, no es posible el aprovechamiento directo de madera, pero sí productos forestales asociados, como lo son los frutos, corteza, gomas, plantas medicinales, entre otros. (UNALM, 1995).

El Bosque de Protección San Matías-San Carlos (BPSMSC) fue establecido en 1987 y posee una extensión de 145818 hectáreas (Municipalidad Provincial de Oxapampa, 2010). Esta ANP debe su nombre a las dos cordilleras ubicadas al interior del área natural protegida, San Matías hacia el Norte y San Carlos hacia el Sur.

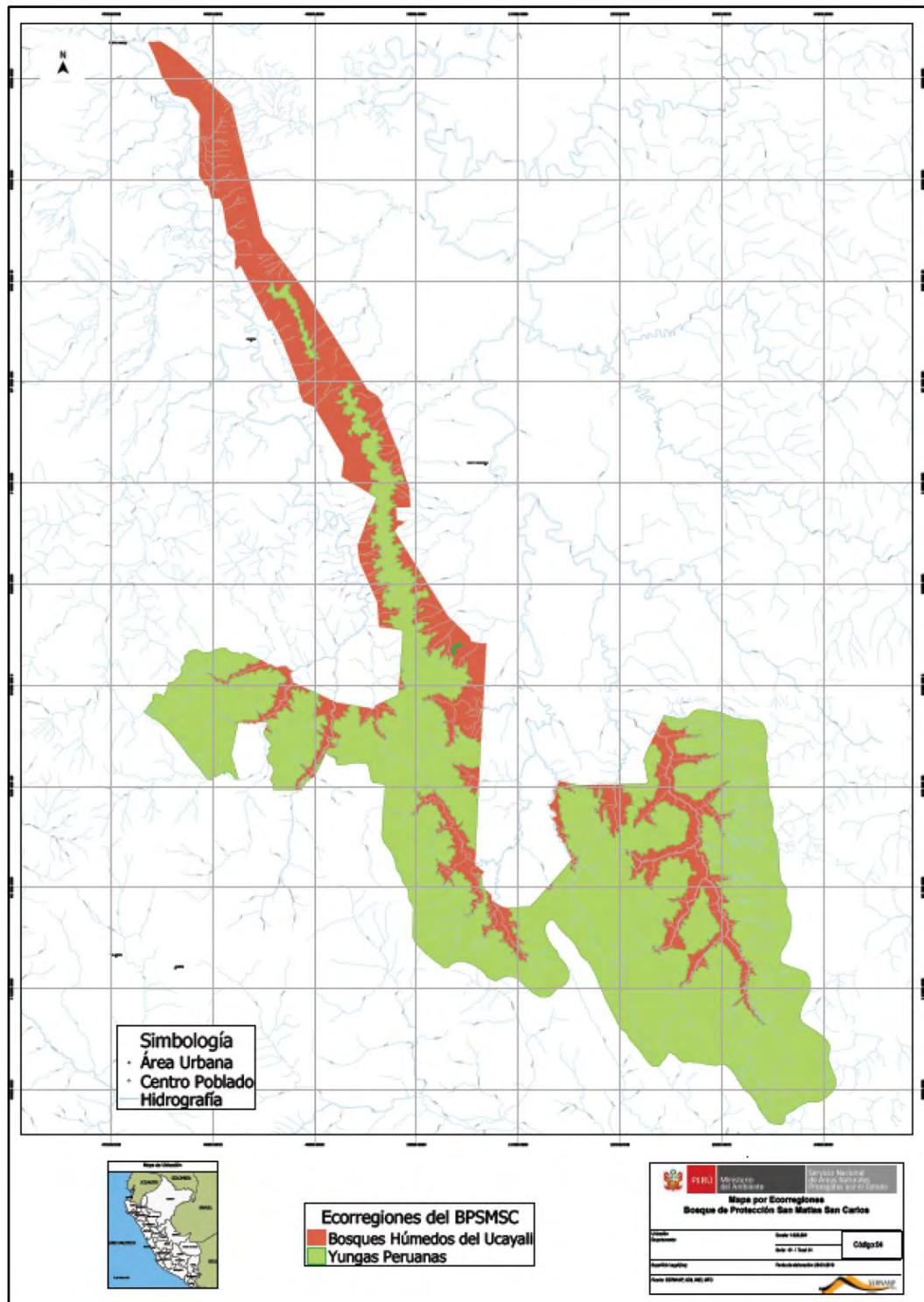
En el Plan Maestro del BPSMSC se caracterizan los distintos ecosistemas que lo conforman: ecosistemas de selva baja y de selva alta. La selva alta presenta vegetación densa que se desarrolla sobre terrenos con grandes pendientes caracterizada principalmente por especies como el “cedro” (*Cedrela sp.*). En cuanto a la fauna característica destacan el “oso de anteojos” (*Tremarctos ornatus*), el “pudú” (*Pudu mephistophiles*), el “majaz de altura” (*Cuniculus taczanowskii*), entre otros. Así mismo, posee un clima húmedo con constantes capas densas de nubosidad aún en épocas de pocas lluvias, suelos muy pobres y susceptibles a la erosión (SERNANP, 2015).

Por otro lado, en los ecosistemas de selva baja destacan las especies de fauna como el “sajino” (*Pecari tajacu*), el “añuje” (*Dasyprocta fuliginosa*), el “otorongo” (*Panthera onca*), entre otras. Mientras que, en cuanto a especies florísticas se encuentran árboles maderables como el “tornillo” (*Cedrelinga cateniformis*), el cedro (*Cedrela sp.*), la “moena” (*Nectandra globosa*), entre otras (SERNANP, 2015).

La caracterización de ambos ecosistemas en el área de estudio está ilustrada en el mapa 2.4. El área sombreada de color rojo representa la ecorregión del bosque húmedo del Ucayali o selva baja, y el área sombreada de color verde representa la ecorregión de las Yungas Peruanas o selva alta.



Mapa 2.4. Ecorregiones del Bosque de Protección San Matías-San Carlos



Fuente: SERNANP (2020a)

2.4.1. ZONIFICACIÓN DEL BOSQUE DE PROTECCIÓN SAN MATÍAS-SAN CARLOS – BPSMSC

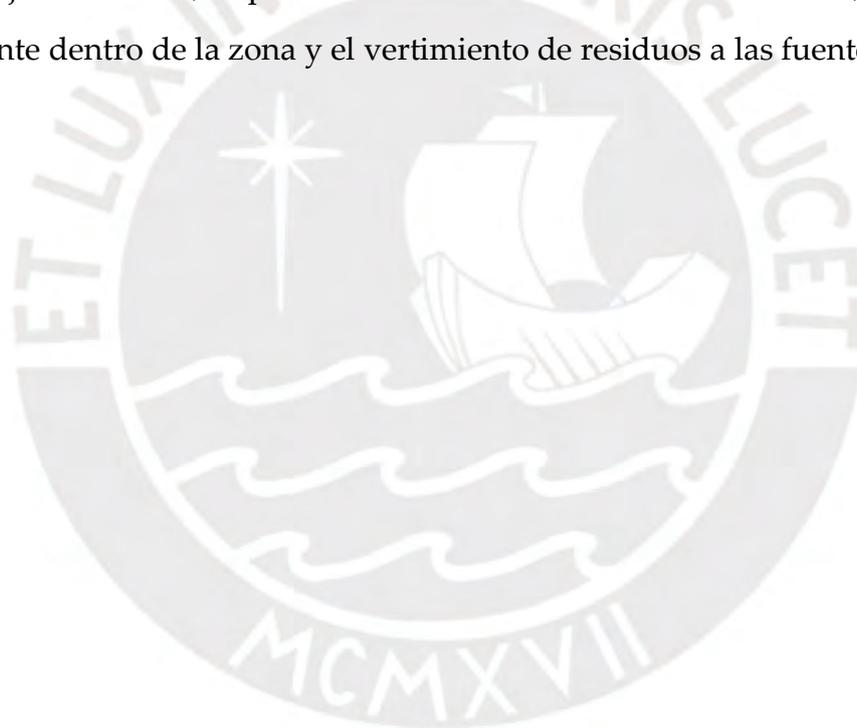
La zonificación interna del BPSMSC se define por la delimitación de una Zona Silvestre (S), una Zona de Aprovechamiento Directo (AD) y una Zona de Uso Especial (UE), todas ellas ilustradas en el mapa 2.5. La Zona Silvestre (S) es aquella que ha experimentado poca o nula intervención antrópica. En estas zonas son posibles las actividades de administración y control, la investigación científica, educación y la recreación sin infraestructura permanente ni vehículos motorizados.

Por otro lado, corresponde al sistema de selva alta y alberga bosques de neblinas colectoras de agua, para lo cual se señala que ninguna actividad antrópica deberá afectar estos lugares de gran importancia para la fauna silvestre. Además, es aquí en donde existe presencia importante de especies de fauna, como el otorongo o el oso de anteojos, y constituye un corredor ecológico natural. Finalmente, se menciona que la zona presenta altas pendientes (hasta 70%) y se encuentran las nacientes de las cabeceras del río Bocaz, para lo que se dispone que la actividad antrópica no debe afectar la estabilidad ni el cambio de uso del suelo para evitar la fragmentación de hábitats, así como tampoco la cantidad ni la calidad de los recursos hídricos.

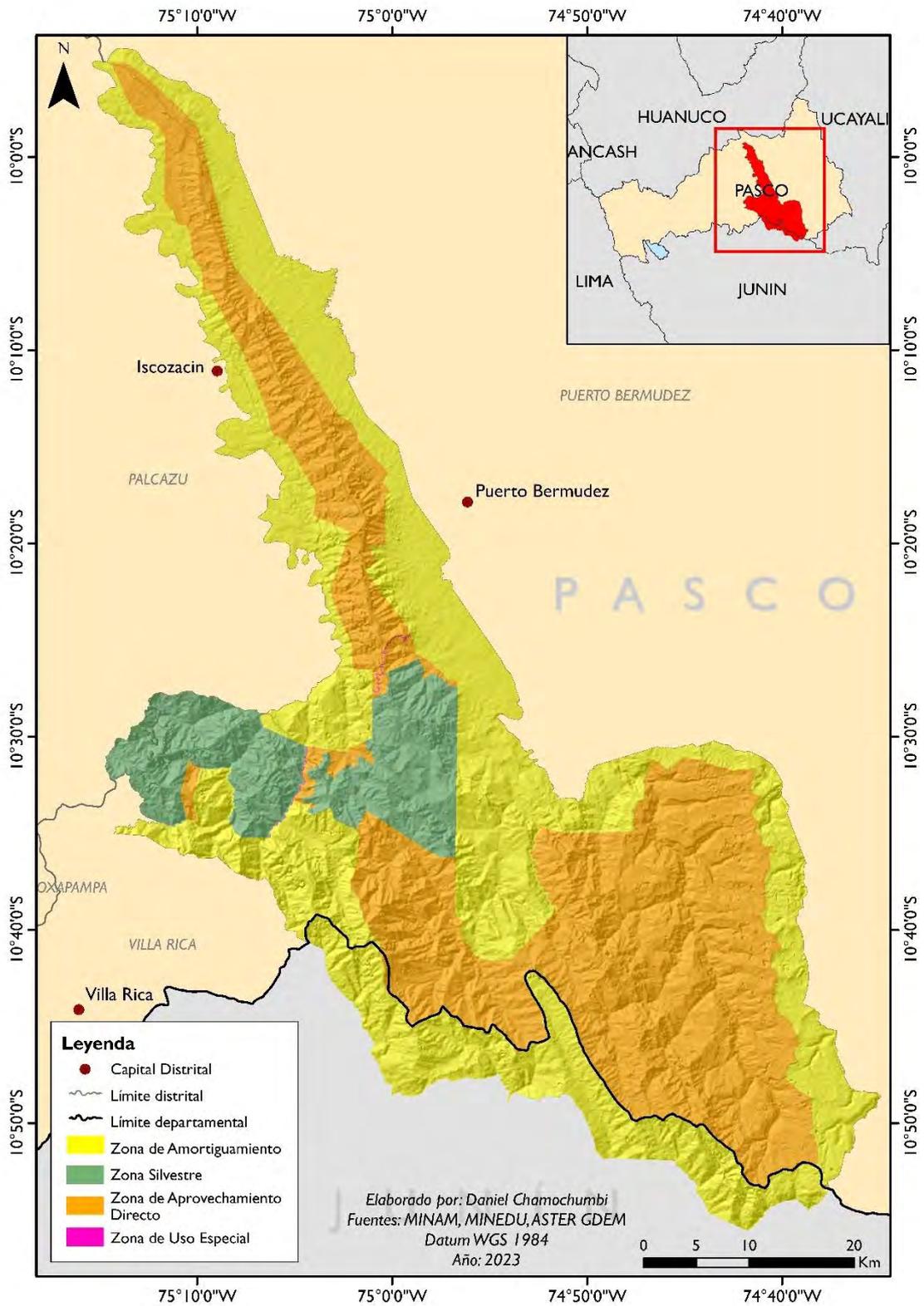
En lo que respecta a la Zona de Aprovechamiento Directo (AD) se trata de la zona de mayor extensión dentro del ANP y representa un espacio en el que se prevé la utilización directa de flora o fauna silvestre, incluyendo la pesca, en las categorías de manejo que contemplan tales usos y según las condiciones especificadas para cada ANP. Este es un espacio ocupado por asentamientos humanos preexistentes al establecimiento del ANP, como por ejemplo las comunidades nativas Asháninkas y Yáneshas, quienes tienen un uso del suelo asociado al cultivo de café y a actividades ganaderas; no obstante, se dispone que

este tipo de actividades no debe incrementar la afectación sobre los ecosistemas y especies. Aquí se identifican ecosistemas de selva baja y selva alta, ambos con presencia de especies maderables de gran valor comercial como lo son el cedro, tornillo, moena y ulcumano, por lo que se prohíbe totalmente la extracción de madera con fines comerciales en vías de conservar las poblaciones de estas especies las cuales se encuentran sometidas a una gran presión antrópica.

Finalmente, la Zona de Uso Especial (UE) es un espacio donde se destaca la existencia de la Vía Nacional Puerto Bermúdez-Villa Rica, por lo que las actividades relacionadas a la infraestructura vial deberán guardar armonía con el paisaje. Asimismo, se prohíbe el uso de canteras dentro del ANP, el acopio de desmonte dentro de la zona y el vertimiento de residuos a las fuentes de agua.



Mapa 2.5. Zonificación del Bosque de Protección San Matías-San Carlos.



Elaboración propia

2.4.2. ZONA DE AMORTIGUAMIENTO (ZA) DEL BPSMSC

Las Zonas de Amortiguamiento (ZA) son aquellas zonas adyacentes a las ANP, las cuales poseen un tratamiento especial con el objetivo que contribuya a garantizar la conservación del área protegida. Los planes maestros de cada ANP son los que definen la extensión de sus respectivas ZA. Es fundamental recalcar que las actividades que se realicen en estas zonas no deben poner en riesgo el cumplimiento de los objetivos del ANP (Ley de Áreas Naturales Protegidas N° 26834, 1997).

La zona de amortiguamiento, según la Municipalidad provincial de Oxapampa (2010), correspondía, en un primer momento, a un área compartida entre el Parque Nacional Yanachaga Chemillén, el BPSMSC y las Reservas Comunales Yánesha y El Sira, establecida bajo la Resolución Jefatural N° 307 – 2001 – INRENA el 13 de diciembre del 2001. No obstante, el Plan Maestro del BPSMSC modificó la ZA aprobada mediante la anterior Resolución Jefatural mencionada, excluyendo las áreas correspondientes a las ZA de las demás ANP (SERNANP, 2015).

Actualmente, las actividades económicas que predominan en la ZA son la agricultura, principalmente de productos como achiote, cacao y café. De igual manera, la piscicultura, principalmente de especies amazónicas como paco y gamitana. También, el aprovechamiento de látex de shiringa y el ecoturismo (SERNANP, 2020a).

2.5. POBLACIÓN

Según datos del censo llevado a cabo en el 2017 por el INEI (2018a), el área comprendida dentro del ANP y su respectiva ZA contiene una población de 7585 habitantes, entre población urbana y rural.

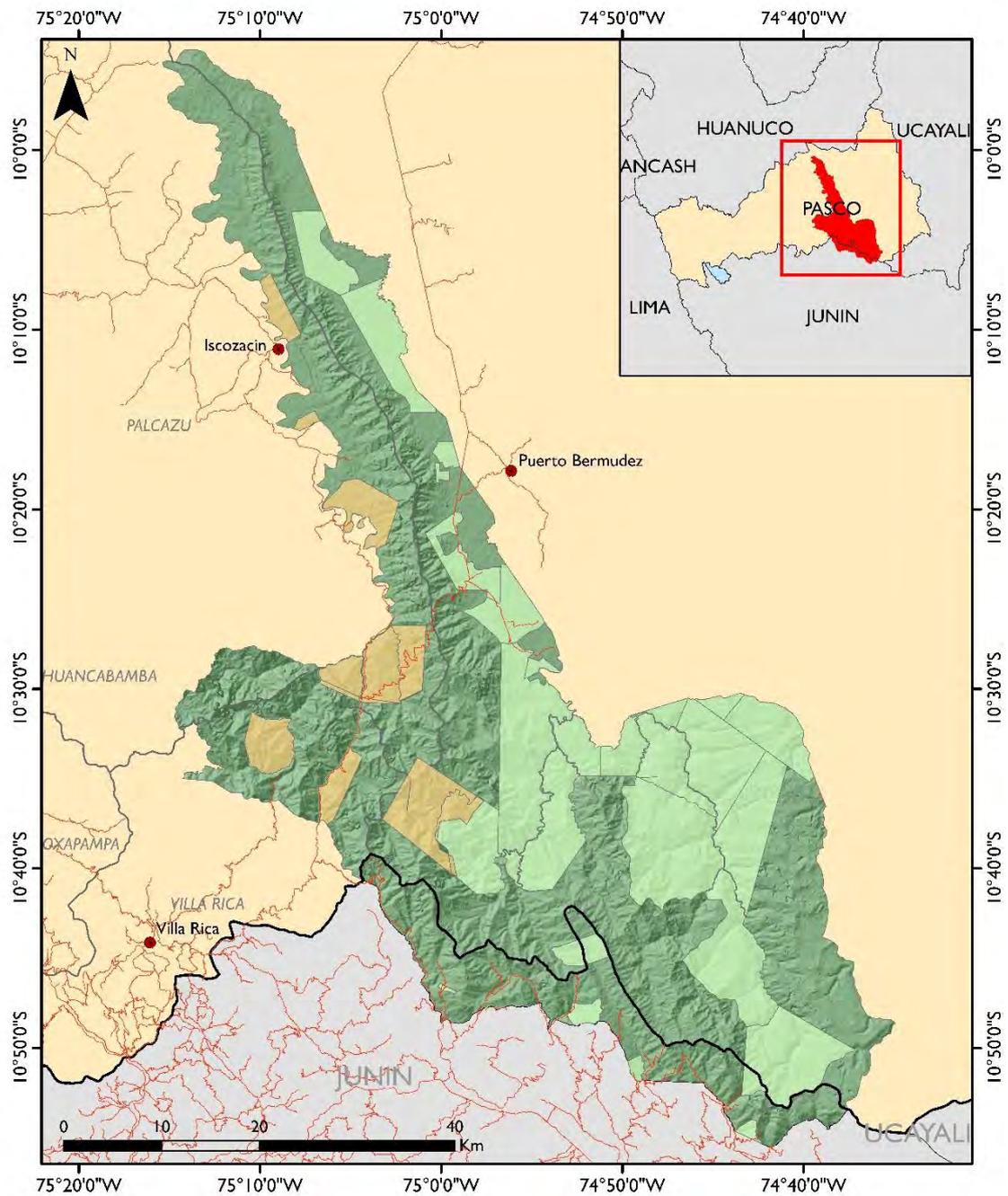
2.5.1. DATOS SOCIOECONÓMICOS

Se determinó que la Población en Edad de Trabajar (PET), la cual corresponde a la suma de la Población Económicamente Activa (PEA) y la Población Económicamente Inactiva (PEI), sufrió un incremento con respecto al censo anterior (2007) del 13.5% en la provincia de Oxapampa. A pesar de esto, aún existe el menor porcentaje de PET (69.4%) en comparación con las demás provincias. Las actividades económicas principales de la PEA están orientadas a la agricultura, trabajos calificados como agropecuarios, forestales y pesqueros de (INEI, 2018b).

2.5.2. COMUNIDADES NATIVAS

Según el Ministerio de Cultura (2019) existen un total de 111 territorios de Comunidades Nativas dentro de la región Pasco y, de todos ellos, 41 se ubican dentro de la zona de estudio. Dichas comunidades pertenecen a las etnias Amuesha (Yánesha) y Asháninka. En general, tanto la población Asháninka como Yánesha tienen como principales actividades económicas y de producción la agricultura, la caza y la pesca. Según Varese (2006), los Asháninka practican una agricultura de subsistencia, la cual, al igual que otras poblaciones del bosque tropical, es mediante la técnica de roza y quema, donde se abren espacios de vegetación para el cultivo que se utiliza hasta agotar la parcela, y luego buscar abrir nuevos espacios.

Mapa 2.6. Territorios de comunidades nativas dentro del Bosque de Protección San Matías-San Carlos y su Zona de Amortiguamiento



Leyenda	
●	Capital Distrital
—	Red Vial: Pasco
—	Límite distrital
—	Límite departamental
Etnia	
	Amuesha (Yanesha)
	Asháninka

Elaborado por: Daniel Chamochumbi
 Fuentes: IBC, MTC, MINAM, MINEDU, ASTER GDEM
 Datum WGS 1984
 Año: 2022



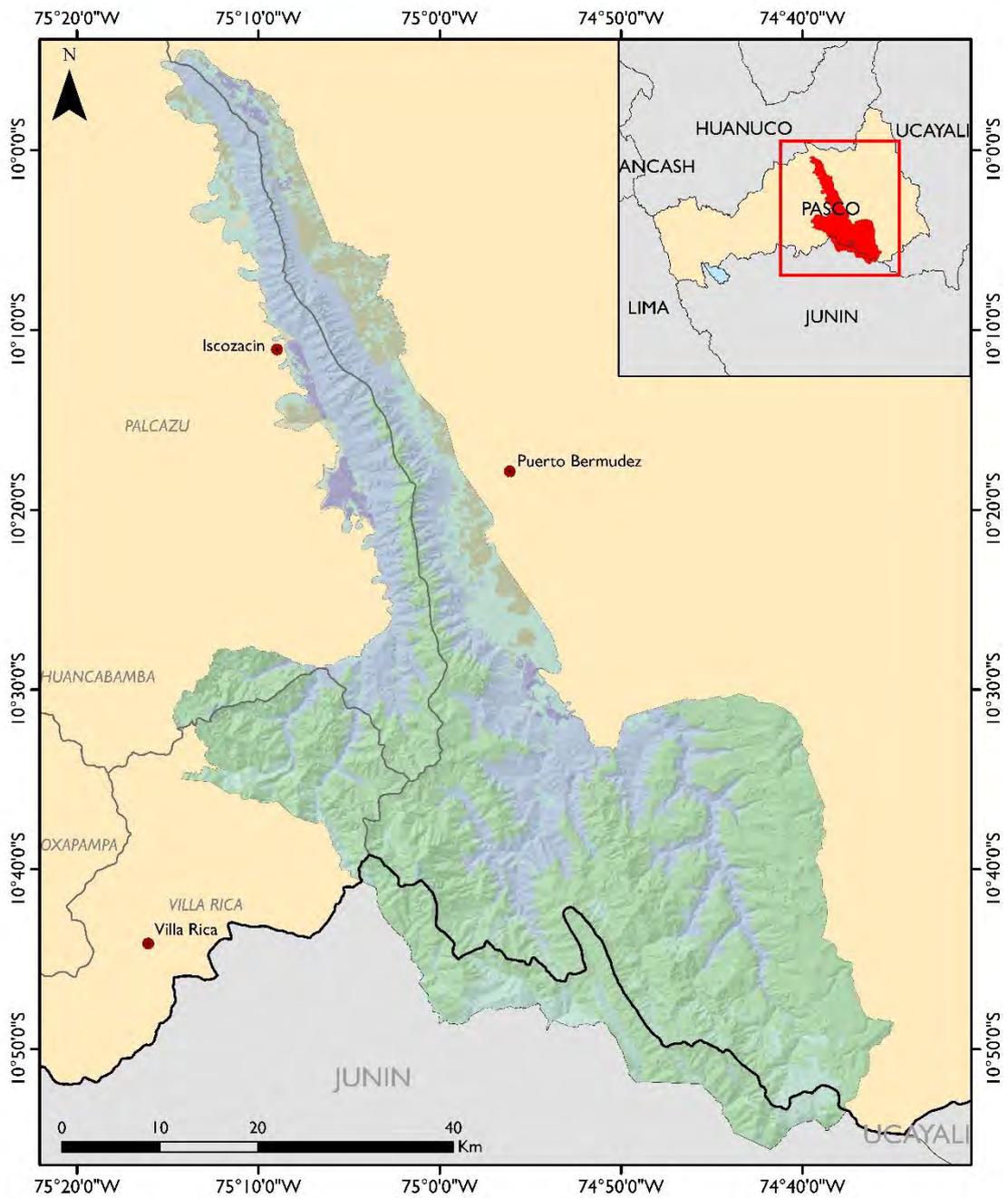
Elaboración propia

2.6. COBERTURA VEGETAL

La cobertura vegetal dentro del ANP está definida por nueve tipos según la clasificación del MINAM (2015) a nivel nacional. Estas nueve clases son: 1. Áreas de no bosque amazónico, 2. Bosque de colina alta, 3. Bosque de colina baja, 4. Bosque de montaña, 5. Bosque de montaña basimontano, 6. Bosque de montaña montano, 7. Bosque de terraza alta, 8. Ríos y 9. Vegetación de isla, siendo el bosque de montaña basimontano el de mayor extensión con un total de 53.7% del total del ANP.



Mapa 2.7. Cobertura vegetal del Bosque de Protección San Matías-San Carlos y su Zona de Amortiguamiento



Leyenda		Cobertura Vegetal	
●	Capital Distrital		Areas de no bosque amazónico
	Límite distrital		Bosque de colina alta
	Límite departamental		Bosque de colina baja
			Bosque de montaña
			Bosque de montaña basimontano
			Bosque de montaña montano
			Bosque de terraza alta
			Río
			Vegetación de isla

Elaborado por: Daniel Chamochumbi
 Fuentes: MINAM, MINEDU, ASTER GDEM
 Datum WGS 1984
 Año: 2022



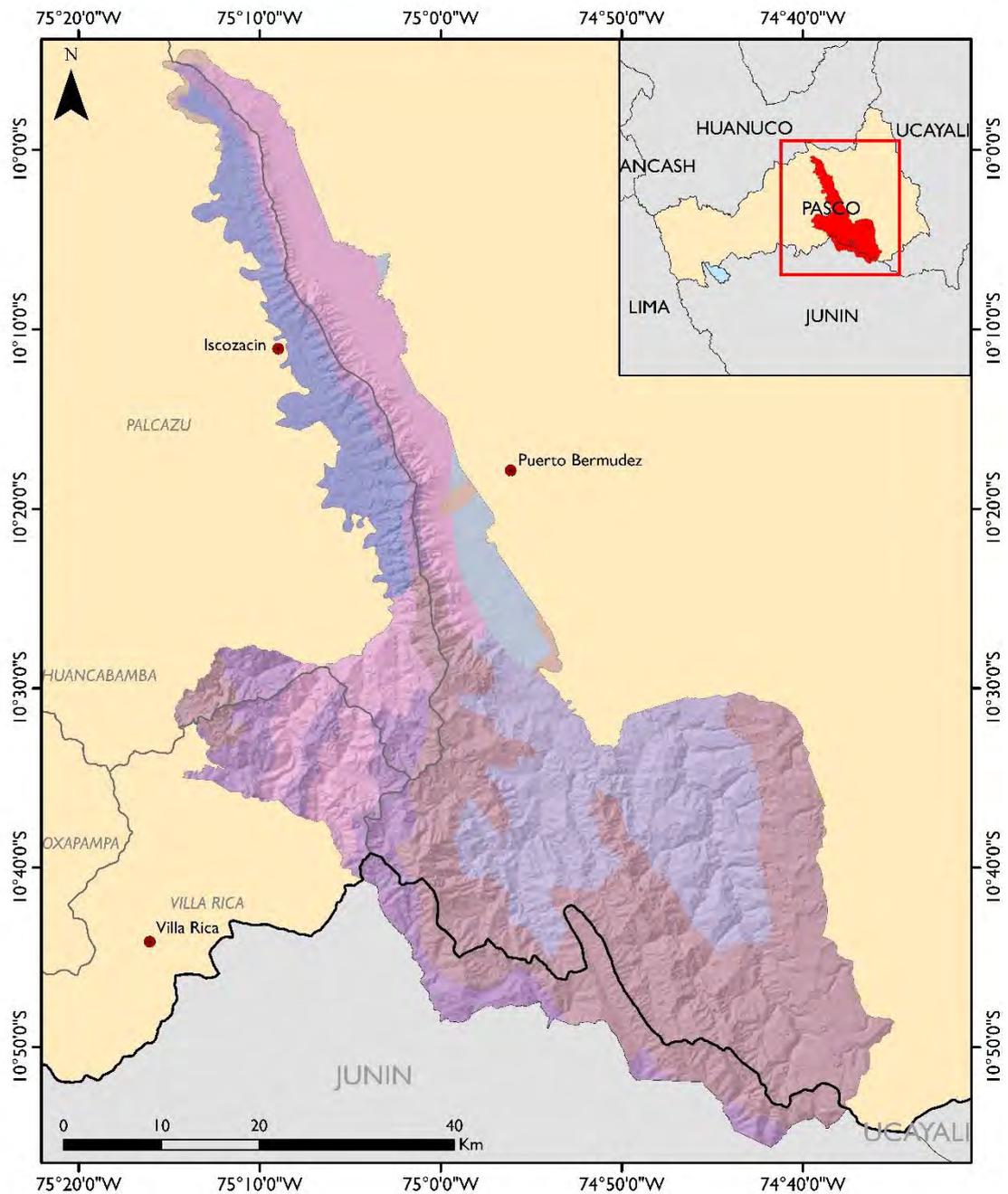
Elaboración propia

2.7. CAPACIDAD DE USO MAYOR

La capacidad de uso mayor de una superficie es definida por su aptitud natural para producir en forma constante, bajo tratamientos continuos y usos específicos con el objetivo de asignar a cada unidad del suelo un uso y manejo apropiado (Decreto Supremo N°017-2009-AG, 2009). Es por ello que también se realizó un mapeo de la capacidad de uso mayor del suelo y para la presente investigación se recortó al área de estudio en cuestión con siete clases (Mapa 2.8) identificados por los siguientes símbolos:

1. **F1s-C3s-A3s:** Producción Forestal - Cultivo Permanente - cultivo en Limpio, ambas de calidad agrologica Alta y Baja
2. **F2se-P3se-C3se:** Producción Forestal - Pastos - Cultivo Permanente, de calidad agrologica Media y Baja
3. **F2se-Xse:** forestal, suelos con calidad agrológica media y baja, y zonas de protección
4. **F3se-Xse:** Producción Forestal en Selva, de calidad agrológica Baja – Protección
5. **Xse(be):** Protección - en zonas de bosque de topografía escarpada (selva alta)
6. **Xse-(bn):** Protección - en zonas de bosque nubosos (ceja de selva)
7. **Xse-F3se:** Protección - Producción Forestal en Selva, de calidad agrologica Baja.

Mapa 2.8. Capacidad de Uso Mayor (CUM) del Bosque de Protección San Matías-San Carlos y su Zona de Amortiguamiento



Leyenda		Capacidad de uso del suelo	
●	Capital Distrital		F1s-C3s-A3s
	Límite distrital		F2se-P3se-C3se
	Límite departamental		F2se-Xse
			F3se-Xse
			Xse(be)
			Xse(bn)
			Xse-F3se

Elaborado por: Daniel Chamochumbi
 Fuentes: MINAM, MINEDU, ASTER GDEM
 Datum WGS 1984
 Año: 2022



Elaboración propia

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA

En el presente capítulo se busca mencionar y comentar detalladamente los principales aspectos metodológicos que se siguieron para la realización de la investigación. Para ello, se describirán las fases de la misma, las fuentes consultadas para la obtención de los datos, las herramientas utilizadas y el procedimiento que se llevó a cabo para la obtención de resultados y, como consecuencia, el cumplimiento de los objetivos planteados.

3.1. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL POTENCIAL DE *CEDRELA ODORATA L.* (CEDRO) EN LA ACTUALIDAD

Para la presente investigación se obtuvieron los datos de presencia georreferenciados de *Cedrela odorata L.* (cedro) de las bases de datos digitales de libre disponibilidad como el Global Biodiversity Information Facility (GBIF¹), TRÓPICOS² y las colecciones botánicas del Kew Royal Botanic Gardens³ y del Field Museum de Chicago⁴. Adicionalmente, se solicitó tanto al Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR), a través del Sistema Nacional de Información Forestal y de Fauna Silvestre (SNIFFS); al Herbario Selva Central Oxapampa (HOXA) – estación biológica del Jardín Botánico de Missouri; y a la jefatura del ANP, los registros digitalizados y georreferenciados de presencia de *Cedrela odorata L.* (cedro) en el Bosque de Protección San Matías-San Carlos que posean en sus bases de datos institucionales (si es que hubiesen).

¹ Fecha de consulta abril de 2022. <https://www.gbif.org/>

² Fecha de consulta abril de 2022. <https://www.tropicos.org/specimen/Search?projectid=5>

³ Fecha de consulta abril de 2022. <http://apps.kew.org/herbcat/gotoHomePage.do>

⁴ Fecha de consulta abril de 2022. <https://collections-botany.fieldmuseum.org/list>

3.1.1. OBTENCIÓN DE DATOS DE PRESENCIA Y CONTROL DE CALIDAD

Con respecto al número mínimo de datos de presencia a emplear en el modelamiento, diversos estudios señalan que modelamientos realizados con muestras menores a 20 puntos generan desempeños pobres y pierden exactitud en los resultados obtenidos (Stockwell *et al.*, 2002 citado por Van Proosdij *et al.*, 2016). Por otro lado, se percibe un incremento en la precisión del modelamiento conforme el tamaño de la muestra también incrementa.

Es así que para la búsqueda de los puntos georreferenciados se procedió a ingresar al portal GBIF mencionado y se eligió la opción “Especies”. Luego, se procedió a indicar en el buscador la especie de interés (*Cedrela odorata L.*) y realizar la búsqueda. Seguidamente, se seleccionó la opción de “Registros” y se realizó el filtro de ubicación con el objetivo de que se obtengan solo los puntos de ocurrencia delimitados al criterio elegido. Se generó manualmente un polígono abarcando el territorio de las regiones Junín, Huánuco y Pasco, y se procedió a descargar en formato CSV.

Una vez obtenidos los datos, se requirió un control de calidad de estos, el cual consistió en:

1. Mantener solo las ocurrencias de la especie de interés: *Cedrela odorata L.*
2. Eliminar las ocurrencias fuera de las tres regiones de interés (Huánuco, Pasco y Junín).
3. Revisar que los datos correspondan a las columnas respectivas.

De igual manera, se realizó la búsqueda en el portal TRÓPICOS, específicamente en el buscador dedicado “Peru Checklist”, el cual es un catálogo de las plantas con flores y gimnospermas del Perú. Seguidamente, se eligió realizar una búsqueda avanzada para poder indicar la especie a buscar: *Cedrela odorata L.* y el país: Perú. Luego de ello, se procedió a descargar las ocurrencias obtenidas y

realizar el respectivo control de calidad manual antes descrito. De manera similar se realizó para los portales online del Kew Royal Botanic Gardens y del Field Museum de Chicago.

Una vez obtenidos los puntos de ocurrencia para cada una de las bases de datos consultadas, se procedió a integrarlas a un solo archivo siguiendo el mismo formato de tres (03) columnas “Especie, Longitud, Latitud” (cabe precisar que es necesario mantener los datos de coordenadas en formato decimal). Luego de ello, se procedió a guardar el archivo como formato CSV (delimitado por comas).

Finalmente, se obtuvo una base de datos de ocurrencia de la especie con 99 puntos únicos de ocurrencia (Anexo 1) dentro de las regiones de interés. Dicha base de datos fue empleada como insumo para los modelamientos con el software Maxent.

Por otro lado, se realizó el contacto formal vía correo electrónico con la Dirección de Catastro, Zonificación y Ordenamiento del SERFOR. En ese caso, ellos señalaron que al haber realizado las coordinaciones con la Dirección de Inventario y Valoración sobre la distribución potencial de la especie cedro que se encuentren dentro del Bosque de Protección San Matías-San Carlos y su Zona de Amortiguamiento, a la fecha de la respuesta “no contamos con información de evaluaciones de unidades muestrales sobre las áreas en consulta” (Tantachuco, comunicación personal, enero/2022).

De igual manera, se realizó el contacto por el mismo medio a la jefatura del Bosque de Protección San Matías – San Carlos. En ese sentido, la jefatura señaló que a la fecha de la respuesta “en la JBPSMSC [Jefatura del Bosque de Protección San Matías - San Carlos] no se cuenta con inventarios de cedros, tampoco se ha realizado investigación en dicha especie” (Mishari, comunicación personal, enero/2022).

Para el caso del Herbario Selva Central Oxapampa (HOXA), también se realizó el contacto vía correo electrónico, a lo cual indicaron que “Todas las colecciones realizadas por el Jardín Botánico de Missouri en Perú están referenciadas en <http://www.tropicos.org>” (Monteagudo, comunicación personal, enero/2022). Es necesario precisar que no se evidenciaron especímenes georreferenciados dentro del ANP ni de su ZA.

3.1.2. OBTENCIÓN Y PREPARACIÓN DE PREDICTORES AMBIENTALES PARA EL PERIODO 1981 – 2010.

Los predictores ambientales que se emplearon para el modelamiento de distribución espacial potencial del cedro en la actualidad fueron divididos en dos grupos:

1. 19 capas ráster de variables bioclimáticas
2. 02 capas ráster de variables topográficas

La importancia de la inclusión de estos datos recae en la gran dependencia de las especies y su distribución geográfica por condiciones climáticas y geográficas específicas para su desarrollo. Las variables bioclimáticas se obtuvieron del portal web Chelsa Climate (Climatologies at High resolution for the Earth’s Land Surface Areas) (Karger *et al.*, 2017), el cual ofrece una síntesis de las 19 variables bioclimáticas (Tabla 3.1), directamente relacionadas con procesos fisiológicos, derivados de datos de temperatura y precipitación por un periodo de 30 años (1981 – 2010). El formato de los datos descargados fue TIFF y poseen una resolución espacial de 30 arco segundos o aproximadamente lo equivalente a 1 km² en el ecuador.

Tabla 3.1. Variables bioclimáticas estandarizadas

#	Variable
---	----------

BIO1	Temperatura Media Anual
BIO2	Intervalo medio diurno (media mensual (temp. máx. - temp. mín.))
BIO3	Isotermalidad (BIO2/BIO7) ($\times 100$)
BIO4	Temperatura Estacionalidad (desviación estándar $\times 100$)
BIO5	Temperatura máxima del mes más cálido
BIO6	Temperatura mínima del mes más frío
BIO7	Rango Anual de Temperatura (BIO5-BIO6)
BIO8	Temperatura media del trimestre más húmedo
BIO9	Temperatura media del trimestre más seco
BIO10	Temperatura media del trimestre más cálido
BIO11	Temperatura media del trimestre más frío
BIO12	Precipitación anual
BIO13	Precipitación del mes más lluvioso
BIO14	Precipitación del mes más seco
BIO15	Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación)
BIO16	Precipitación del trimestre más húmedo
BIO17	Precipitación del trimestre más seco
BIO18	Precipitación del trimestre más cálido
BIO19	Precipitación del trimestre más frío

Fuente: Adaptado de chelsea-climate.org (2022)

Tabla 3.2. Variables topográficas

#	Variable
TP1	Elevación
TP2	Pendiente

Elaboración propia

Previo al inicio del procesamiento de las variables, se creó un sistema de carpetas para el almacenamiento de las capas resultantes. Este fue adaptado del modelo de Timaná *et al.* (2016) (Anexo 2).

Seguidamente, se preparó las variables bioclimáticas para que puedan ser empleadas en el modelamiento por Maxent. Dicha preparación se realizó en el software ArcGis 10.8 siguiendo con el procedimiento detallado en el Anexo 3.

Por su lado, también se descargaron datos de elevación del terreno ASTER GDEM de 30 metros de resolución (1 arco segundo). Para obtener la capa de elevación final necesaria como insumo para el modelamiento se realizó una preparación en el software ArcGis 10.8 siguiendo con el procedimiento detallado en el Anexo 3.

Seguidamente, se generó una capa de pendientes a partir de esta capa de elevación, la cual también será empleada como insumo para los modelamientos. Para ello se empleó la herramienta "Slope" en ArcGis 10.8.

3.2. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL POTENCIAL FUTURA DE *CEDRELA ODORATA L.* (CEDRO) PARA EL PERIODO 2041 – 2060

Esta se trata de una metodología que permite procesar datos y elaborar un modelamiento futuro basado en la probabilidad de que los predictores mantengan su tendencia de evolución observada a lo largo del periodo. Para esto MaxEnt contiene el principio de estimar aquella distribución que mantenga una

entropía máxima y uniforme en un área de trabajo determinada, tomando como base el comportamiento de los predictores previamente identificados (Timaná *et al.*, 2016).

3.2.1. OBTENCIÓN Y PREPARACIÓN DE PREDICTORES AMBIENTALES FUTUROS PARA EL PERIODO 2041 – 2060.

Tomando como referencia la visión esperada del BPSMSC hacia el año 2035 en cuanto a la conservación de las especies forestales que en él se encuentran, es pertinente la inclusión de un escenario predictivo de distribución de una de las especies objeto de conservación del ANP: *Cedrela odorata* L. Los resultados obtenidos muestran el potencial comportamiento en la distribución geográfica de la especie bajo dos escenarios futuros de cambio climático: uno intermedio (RCP 4.5) y otro pesimista (RCP 8.5), de acuerdo con las concentraciones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) adoptadas en el quinto informe de evaluación (AR5) por el Panel Intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) en el 2014. Teniendo en cuenta, además, las áreas deforestadas hasta el año 2020 debido a, principalmente, actividades antrópicas como la tala ilegal y el cambio de uso de suelo.

Asimismo, se pudo identificar la variabilidad de las áreas de mayor y menor probabilidad de ocurrencia de la especie para ambos escenarios futuros. Seguidamente, se realizó la comparación con el escenario de distribución potencial en la actualidad.

Es preciso señalar que para el modelamiento futuro de distribución espacial del cedro se incluyeron las 21 variables referentes a predictores ambientales (19 variables bioclimáticas y dos topográficas), así como los mismos 99 puntos de presencia identificados dentro del área de estudio. Para la obtención de las variables bioclimáticas se realizó un procedimiento en ArcGis 10.8, el cual puede ser revisado a detalle en el Anexo 3.

3.3. MODELAMIENTO DE DISTRIBUCIÓN ESPACIAL POTENCIAL DE *CEDRELA ODORATA* L. (CEDRO) CON EL SOFTWARE MAXENT 3.4.4.

Una vez preparadas las capas de predictores ambientales en formato ASC y los datos de ocurrencia en formato CSV, estos ya se encuentran listos para ser procesados en el software MaxEnt 3.4.4. Dicho software es utilizado, por lo general, para realizar predicciones de distribución cuando se tienen datos incompletos, sobre todo con datos de presencia o ausencia y variables ambientales del área de interés (Phillips *et al.*, 2006; Baldwin, 2009). Por otro lado, se eligió emplear Maxent como herramienta de modelaje de distribución de especies después de una revisión de la literatura, pues se identifica como el método con los resultados más robustos y precisos, aún con muestras pequeñas de datos de presencia (Phillips *et al.*, 2006; Fundación Naturaleza para la Vida, 2010).

En total se realizaron tres análisis en Maxent. En el primero se modeló la distribución potencial del cedro en la actualidad. En el segundo se modeló la distribución potencial futura del cedro para el periodo 2041 – 2060, bajo un escenario intermedio (RCP 4.5) de cambio climático. Finalmente, en el tercero se modeló la distribución potencial futura del cedro para el periodo 2041 – 2060, bajo un escenario pesimista (RCP 8.5) de cambio climático.

Para realizar los tres modelamientos en el software Maxent 3.4.4. se siguió con un procedimiento que puede ser revisado al detalle en el Anexo 3.

3.4. IDENTIFICACIÓN DE HOTSPOTS DE DEFORESTACIÓN POR ACTIVIDADES ANTRÓPICAS

La importancia de aplicar este procedimiento en la investigación se debe a que es fundamental para realizar un solapamiento entre las áreas que concentran la mayor cantidad de parches deforestados con las áreas de mayor probabilidad de distribución del cedro. Ello determinará cuáles son las zonas de mayor probabilidad de distribución de cedro potencialmente más afectadas por la

deforestación y, así, poder brindar recomendaciones a las autoridades respecto a zonas prioritarias en donde fortalecer el control y la vigilancia en el ANP.

3.4.1. IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS BOSCOSAS DEFORESTADAS

Para identificar las alteraciones del bosque en cuanto a cobertura vegetal por deforestación a causa de la tala ilegal y cambio de uso de suelo en la actualidad es necesario realizar un análisis de la información generada por fuentes secundarias y, además, constatando mediante sensores remotos con datos actuales, pues la extensión del área de interés es de grandes proporciones y esta técnica podrá facilitar dicho objetivo. Es por eso que, en primer lugar, se revisaron datos espaciales existentes sobre el avance de la deforestación en la zona proporcionado por el portal web del MINAM Geobosques⁵.

Dicho portal corresponde a una plataforma de monitoreo de los cambios sobre la cobertura de los bosques. Además, permite la distribución libre y gratuita de la información acerca de los cambios que ocurren en el bosque, la cual es distribuida a través de reportes, informes, data espacial, mapas, entre otros.

Es gracias a esta plataforma que se obtuvo la data espacial correspondiente a:

1. Datos sobre la cobertura boscosa correspondiente al año 2001 hasta el año 2020 dentro del área de estudio.
2. Datos sobre la cobertura no boscosa correspondiente al año 2001 hasta el año 2020 dentro del área de estudio.
3. La pérdida de bosque correspondiente al periodo 2001 – 2020 dentro del área de estudio.

Los datos de cobertura boscosa representan la superficie cubierta por bosques primarios; mientras que los de cobertura no boscosa consideran a los usos de

⁵ Fecha de descarga: julio 2021

<https://geobosques.minam.gob.pe/geobosque/view/descargas.php?122345gxxe345w34gg>

suelo tales como bosques secundarios, centros poblados, redes viales, áreas mineras, zonas agrícolas, herbazales y sabanas hidrofitas. Finalmente, el cálculo de pérdida de bosque indica la superficie de cambio de cobertura boscosa originado ya sea por actividad antrópica o natural durante el periodo 2001 – 2020. Sin embargo, los datos generados por Geobosques excluye la pérdida provocada por la dinámica natural y solamente se refiere a pérdida de bosque debido a causas antrópicas (deforestación) (MINAM, 2016). Estos datos se descargaron tanto en formato ráster como en shapefile, y fue generada por el MINAM (s/f) según el “Protocolo metodológico para detección de la pérdida de bosque” mediante un procesamiento de imágenes satelitales Landsat (con resolución espacial de 30 x 30 metros) y la construcción de un gran mosaico cuya superficie no contenga la interferencia de nubes.

Es así que se logró mapear el área de pérdida de cobertura boscosa por deforestación en el Bosque de Protección San Matías – San Carlos para el periodo 2001 – 2020.

Por otro lado, se mapeó la densidad de Kernel empleando el software ArcGIS 10.8. y cuyo procedimiento se detalla en el Anexo 3. Este análisis corresponde a un método de interpolación para la identificación de hotspots de un determinado fenómeno en el espacio y conocer la densidad de su ocurrencia (Caudillo *et al.*, 2010) con el fin de evaluar las áreas de mayor concentración de deforestación en el ANP y en su zona de amortiguamiento.

Se optó por el uso de esta metodología, pues las áreas deforestadas son mayoritariamente pequeñas parcelas (característica de un cambio de uso del suelo por pequeños agricultores que practican la agricultura de subsistencia), las cuales, de acuerdo con la gran escala con la que se está trabajando, representan puntos que podrían ser acoplados al cálculo de densidad de Kernel y determinar las zonas de mayor densidad de pérdida de bosque.

Se añade la capa de deforestación en los mapas resultantes de los tres modelamientos realizados con Maxent para identificar los solapamientos entre las áreas y, así, determinar cuáles son aquellas de mayor presión hacia la especie. Esta información permitirá tener una visión más realista sobre el estado actual y futuro probable de conservación del cedro dentro del Bosque de Protección San Matías-San Carlos, sirviendo como un insumo para monitorear el cumplimiento con los objetivos planteados dentro del Plan Maestro del Bosque de Protección San Matías-San Carlos hacia el 2035.

Para ello, se elaboró un mapa (Mapa 4.4.) sobre las áreas identificadas de mayor probabilidad de ocurrencia de nuevos frentes de deforestación, lo cual será de gran utilidad para la toma de decisiones con relación a nuevas rutas de control, monitoreo y vigilancia.

3.5. CÁLCULO DE ÁREAS

Antes que nada, es importante calcular la tasa de deforestación para conocer el ritmo de pérdida de bosque anual del área de estudio. Para este cálculo se siguió con la metodología estandarizada de Puyravaud (2003) definida por la siguiente fórmula:

$$r = \frac{1}{t2-t1} \ln \frac{A2}{A1}$$

En donde r representa la tasa de deforestación en un rango de 0 – 1; $t2-t1$ es la diferencia entre los años del periodo estudiado ($t2$ es el año 2020 y $t1$ es el año 2001); $A2$ representa el área de bosque de $t2$ (2020) y $A1$ el área de bosque de $t1$ (2001). Esta fórmula es análoga a la empleada por la FAO, con una diferencia despreciable de aproximadamente 10^{-6} (Aguilar-Amuchastegui *et al.*, 2014). Esto servirá para poder calcular el área de pérdida de bosque para el 2050 en el ANP.

Por otro lado, como resultados de los tres modelamientos se generó, para cada uno de ellos, un archivo en formato ASC, el cual permitió calcular las áreas de

mayor probabilidad de ocurrencia de la especie, así como realizar una comparación de la variación de éstas entre el escenario potencial en la actualidad y los dos escenarios futuros. Para ello, se realizó un procedimiento en ArcGis 10.8, el cual puede ser revisado a detalle en el Anexo 3.

Además, se reclasificó en 15 clases los rangos de probabilidad obtenidos (Tabla 3.3.). Se determinó adecuada dicha clasificación para evitar generar más de 20 clases, pero, al mismo tiempo, asegurar que se pueda tomar como referencia las tres últimas clases bajo la etiqueta de probabilidad “Muy alta”, y que estos valores abarquen por lo menos 0.8 - 1.

Tabla 3.3. Rangos de probabilidad de ocurrencia de la especie en la actualidad según clases reclasificadas

Clase	Rango de probabilidad de ocurrencia
1	0 – 0.031
2	0.032 – 0.094
3	0.095 – 0.16
4	0.161 – 0.227
5	0.228 – 0.298
6	0.299 – 0.372
7	0.373 – 0.447
8	0.448 – 0.517
9	0.518 – 0.588
10	0.589 – 0.654

11	0.655 – 0.721
12	0.722 – 0.788
13	0.789 – 0.858
14	0.859 – 0.933
15	0.934 - 1

Elaboración propia



CAPÍTULO 4

RESULTADOS

En esta sección se busca presentar los resultados obtenidos tras la aplicación de la metodología descrita en el capítulo anterior. Es así que la información generada a continuación contribuye al alcance de los objetivos de la presente investigación. Por otro lado, es necesario remarcar que dichos resultados se analizan posteriormente en el capítulo 5.

4.1. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL POTENCIAL DE *CEDRELA ODORATA L.* (CEDRO) EN EL BOSQUE DE PROTECCIÓN SAN MATÍAS-SAN CARLOS Y SU ZONA DE AMORTIGUAMIENTO EN LA ACTUALIDAD

Como resultado del análisis en el software Maxent 3.4.4. empleando los 99 puntos únicos de ocurrencia (Mapa 5.1.) y las 21 variables ambientales se obtuvo el Mapa 4.1. que muestra, potencialmente, las áreas de mayor y menor probabilidad de ocurrencia de la especie para el área de interés. Asimismo, se incluyó la capa de pérdida de bosque (áreas deforestadas) para el periodo 2001 – 2020, las cuales, al tratarse de áreas deforestadas y sin cobertura vegetal, automáticamente adoptan una probabilidad de ocurrencia de la especie de 0, pues será imposible encontrar cedro en dichas localidades.

Por otro lado, el cálculo del área de mayor probabilidad (>0.788) indicó que existe un total de 32184.77 ha dentro del área de estudio en la cual es muy probable la presencia del cedro en la actualidad. Esta área representa un 11.64% del área total.

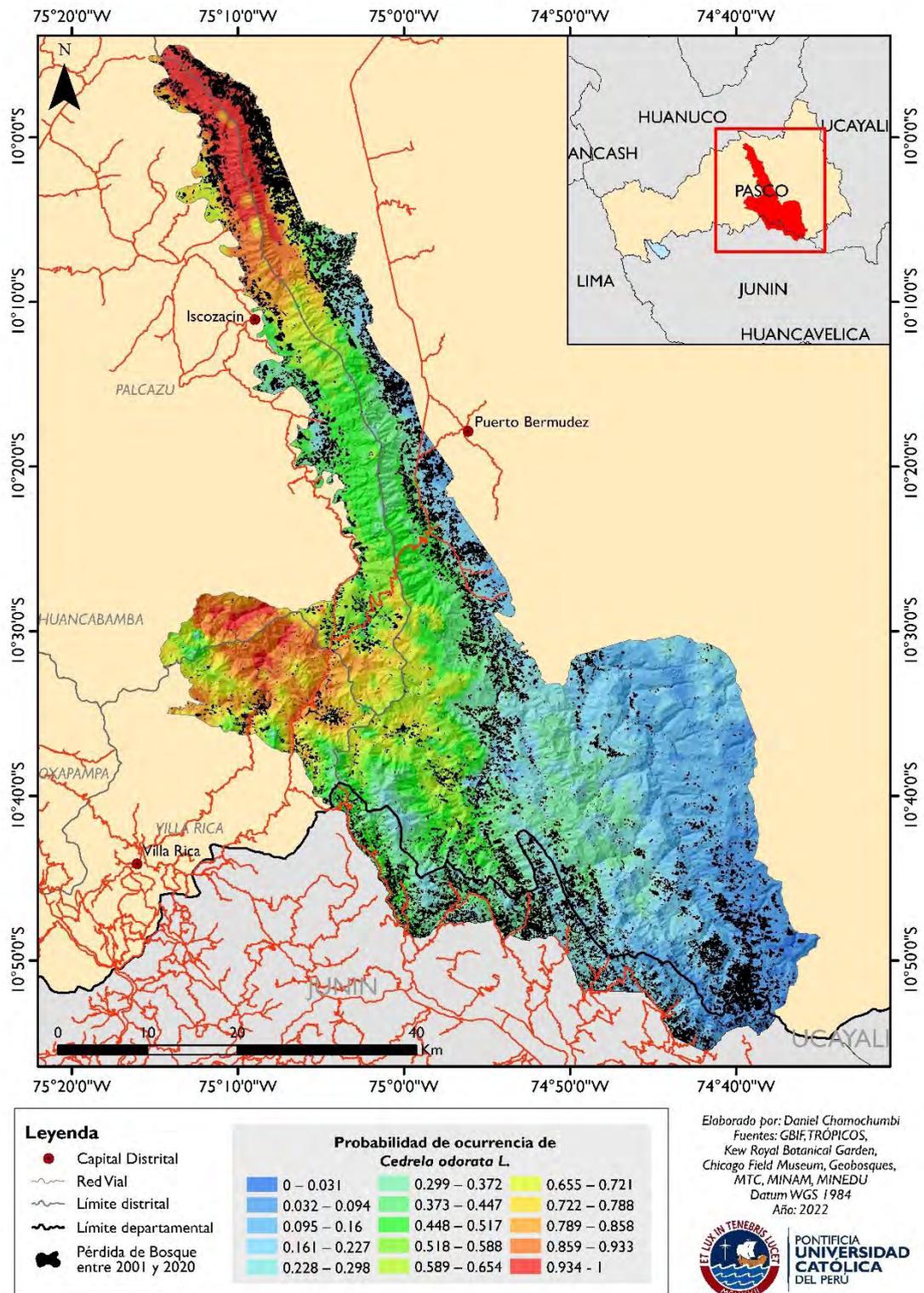
De igual manera, se obtuvo una serie de análisis estadísticos que indican el rendimiento del modelamiento: la Figura 4.1 muestra un análisis de la tasa de omisión/comisión. Este tipo de gráfica presenta tres líneas de diferente color: la línea negra corresponde a la “omisión predicha” y es una línea de referencia. Por otro lado, la línea azul corresponde a la “omisión en muestras de entrenamiento”

o también “omisión de puntos de presencia” y muestra las fracciones de puntos de presencia resultantes del modelo que se ubican por fuera del área potencial de presencia (fraction value) según los valores de probabilidad; es decir, da una idea aproximada de la cantidad de puntos que se encuentran fuera del área de presencia definido por un valor de probabilidad acumulado. Por último, la línea roja corresponde a la “Fracción de fondo prevista” y muestra las fracciones de los puntos aleatorios del área de estudio incluidos dentro del área predicha según los valores de probabilidad; es decir, da una idea aproximada de la cantidad de puntos que se encuentran dentro del área de presencia definido por un valor de probabilidad acumulado.

La Figura 4.2 muestra un análisis de sensibilidad del modelamiento. Este es un parámetro utilizado para evaluar la capacidad de predicción del modelamiento y analiza el Área por Debajo de la Curva (AUC, por sus siglas en inglés) de la Curva de Característica Operativa Relativa (ROC, por sus siglas en inglés) que se muestra de color rojo.

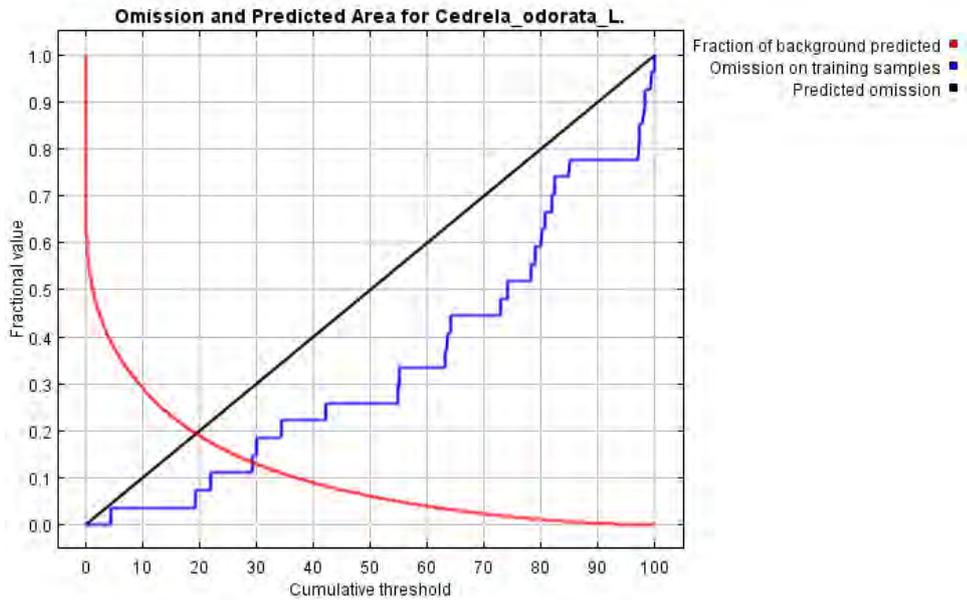
Finalmente, la Figura 4.3 muestra un análisis del peso de cada variable y su aporte en el resultado del modelamiento. Esta prueba determina la ganancia o el peso que aporta cada variable al modelo y, así, poder conocer la importancia de cada una con relación a la distribución potencial de la especie. Las barras azules muestran la ganancia obtenida para el modelo solamente tomando en cuenta dicha variable, mientras que las barras de color verde muestran la pérdida sin dicha variable. Por otro lado, la barra roja representa la ganancia con todas las barras juntas, lo cual significa la totalidad del modelo.

Mapa 4.1. Distribución espacial potencial de *Cedrela odorata* L. (cedro) en el Bosque de Protección San Matías-San Carlos y su Zona de Amortiguamiento en la actualidad



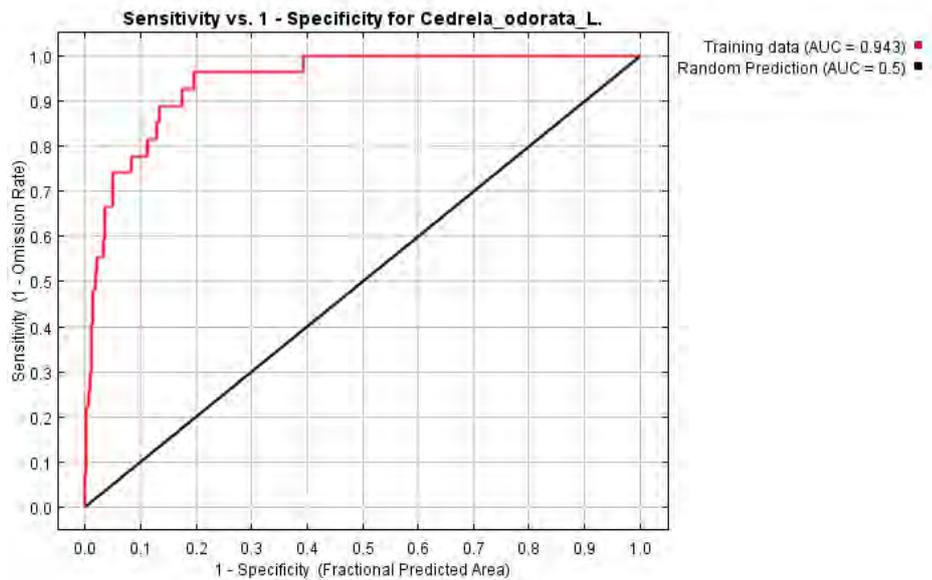
Elaboración propia

Figura 4.1. Análisis de omisión/comisión: omisión y área predicha para *Cedrela odorata* L. en la actualidad dentro del Bosque de Protección San Matías-San Carlos y su Zona de Amortiguamiento



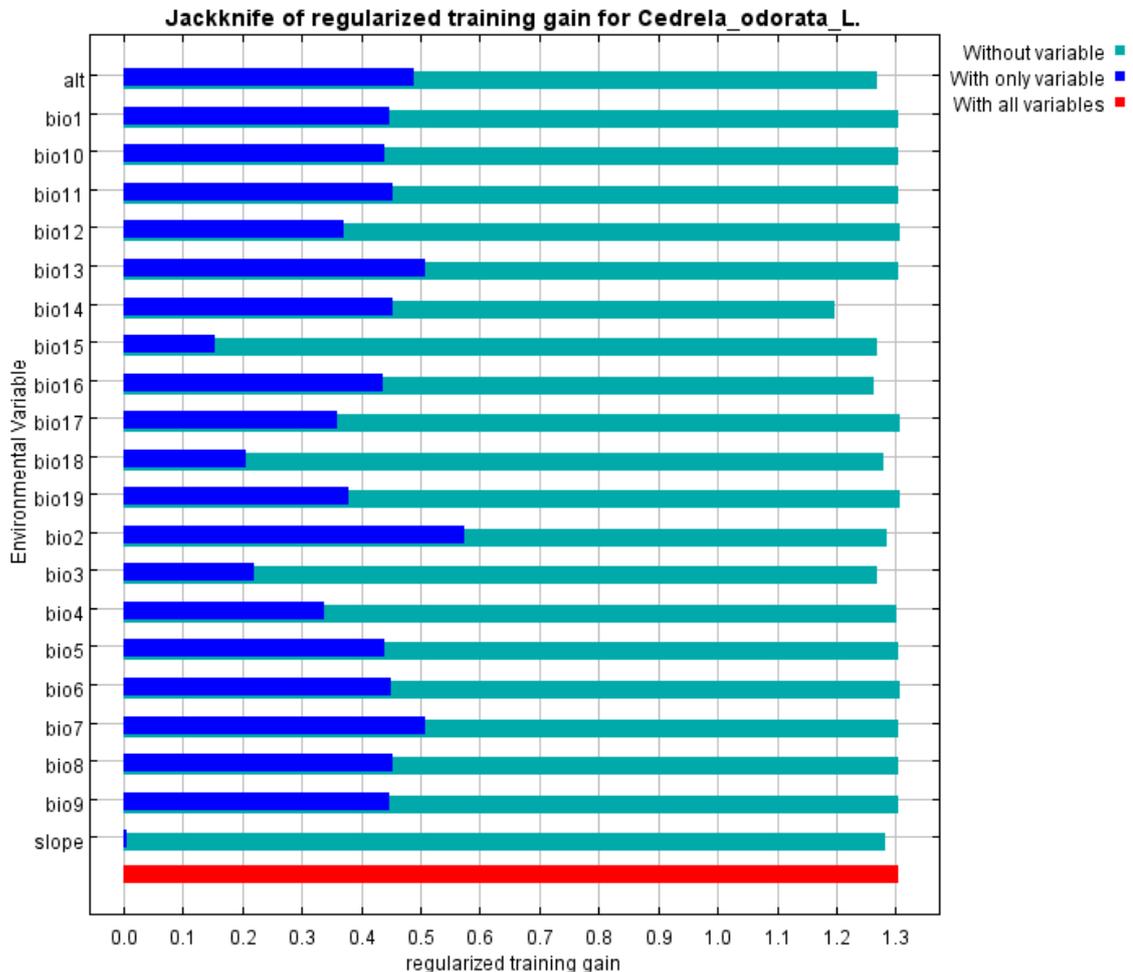
Elaboración propia

Figura 4.2. Análisis de omisión/comisión: Sensibilidad vs 1 – Especificidad para *Cedrela odorata* L. en la actualidad dentro del Bosque de Protección San Matías-San Carlos y su Zona de Amortiguamiento



Elaboración propia

Figura 4.3. Análisis jackknife sobre cada variable para *Cedrela odorata* L. en la actualidad dentro del Bosque de Protección San Matías-San Carlos y su Zona de Amortiguamiento



Elaboración propia

4.2. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL POTENCIAL FUTURA DE *CEDRELA ODORATA* L. (CEDRO) EN EL BOSQUE DE PROTECCIÓN SAN MATÍAS-SAN CARLOS Y SU ZONA DE AMORTIGUAMIENTO PARA EL PERIODO 2041 – 2060

Como resultado de la ejecución en el software Maxent 3.4.4. empleando los 99 puntos únicos de ocurrencia y las 21 variables ambientales bajo un escenario futuro de cambio climático intermedio (RCP 4.5) se obtuvo el Mapa 4.2. que muestra, potencialmente, las áreas de mayor y menor probabilidad de ocurrencia de la especie en el área de interés para el periodo 2041 - 2060. Asimismo, se incluyó la capa de pérdida de bosque (áreas deforestadas) para el periodo 2001 –

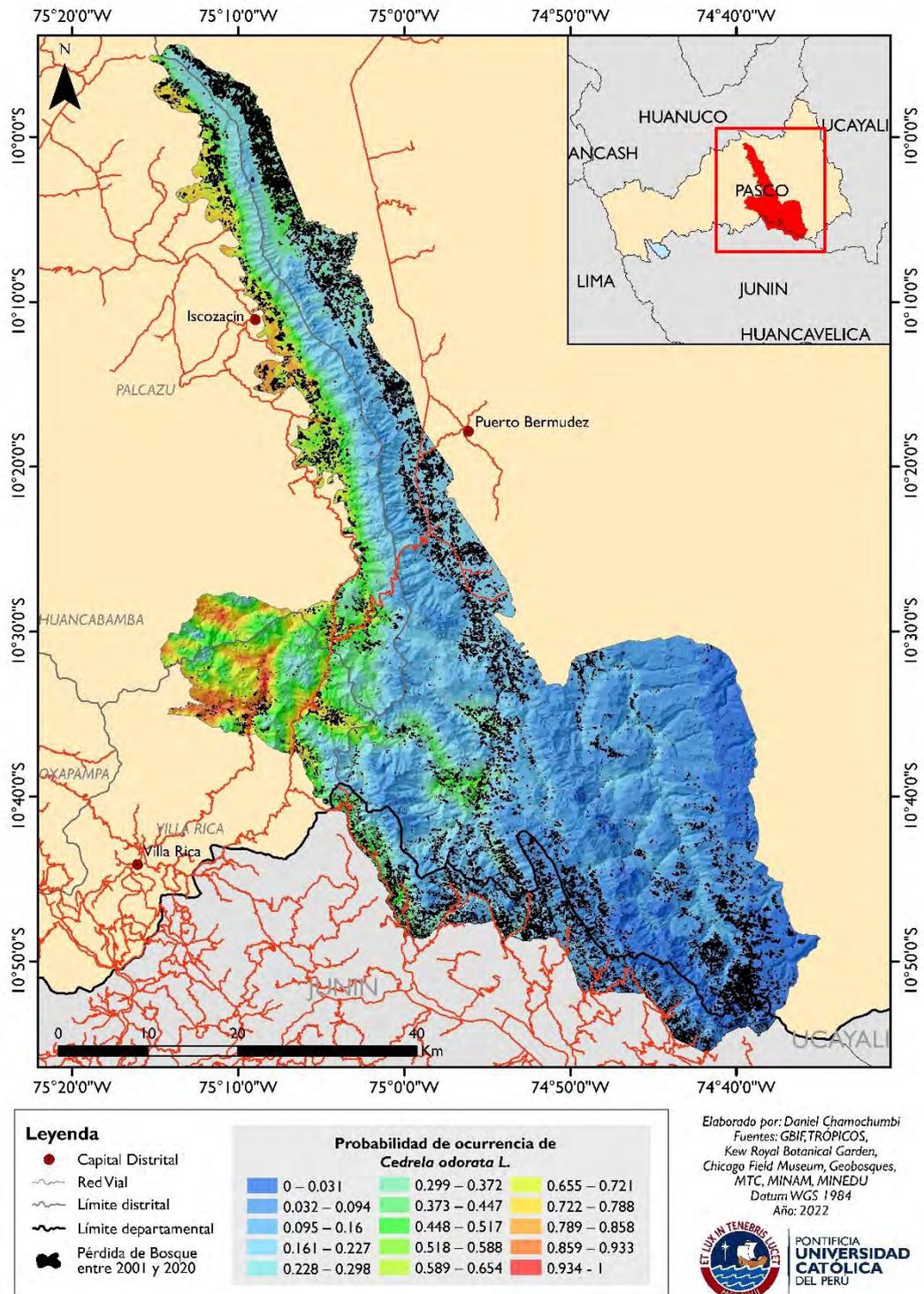
2020, las cuales, como ya se mencionó previamente, automáticamente adoptan una probabilidad de ocurrencia de la especie de 0, pues será imposible encontrar cedro en dichas localidades.

Para este caso, el cálculo del área de mayor probabilidad (>0.788) indicó que existe un total de 5977.59 ha dentro del área de estudio en la cual es muy probable la presencia de cedro. Esta área representa un 2.16% del área total.

De igual manera, se obtuvo una serie de análisis estadísticos que indican el rendimiento del modelamiento: la Figura 4.4. muestra un análisis de la tasa de omisión/comisión, la Figura 4.5. muestra un análisis de sensibilidad del modelamiento y la Figura 4.6. muestra un análisis del peso de cada variable y su aporte en el resultado del modelamiento.

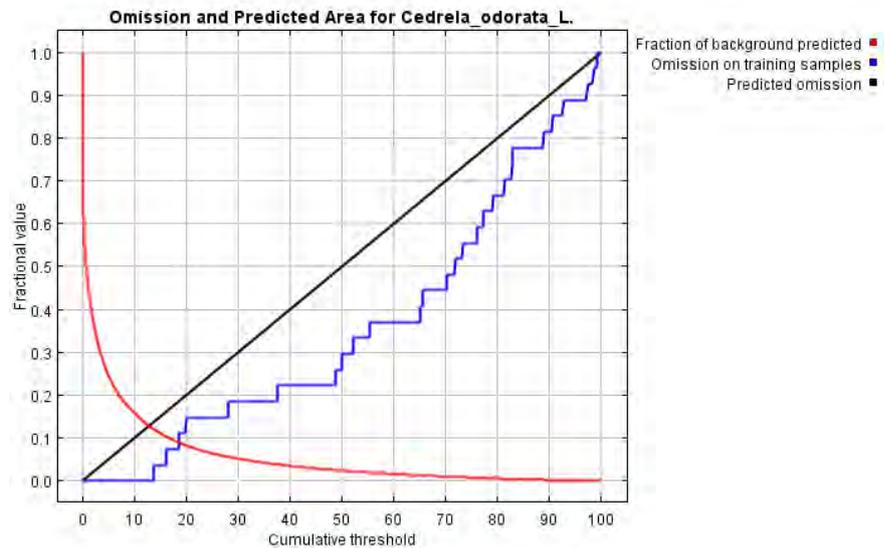


Mapa 4.2. Distribución espacial potencial de *Cedrela odorata* L. (cedro) en el Bosque de Protección San Matías-San Carlos y su Zona de Amortiguamiento para el periodo 2041 – 2060 bajo un escenario de cambio climático intermedio (RCP 4.5)



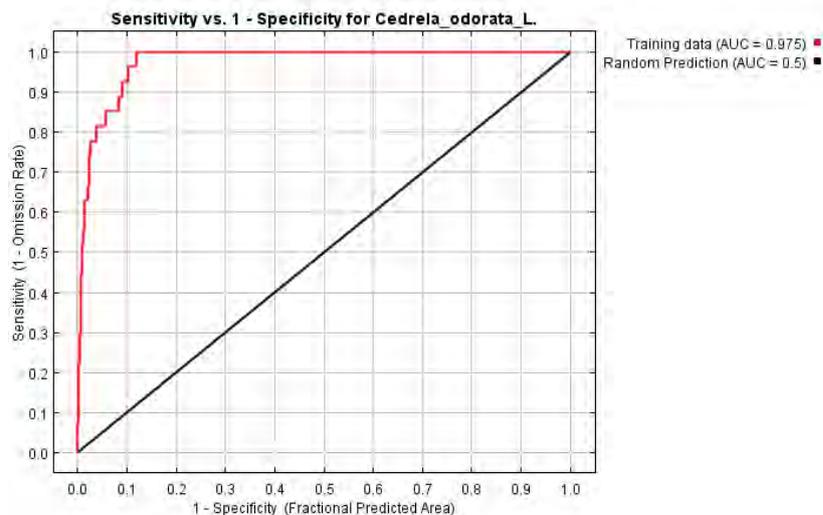
Elaboración propia

Figura 4.4. Análisis de omisión/comisión: omisión y área predicha para *Cedrela odorata* L. para el periodo 2041 – 2060 bajo un escenario de cambio climático intermedio RCP 4.5 dentro del Bosque de Protección San Matías-San Carlos y su Zona de Amortiguamiento



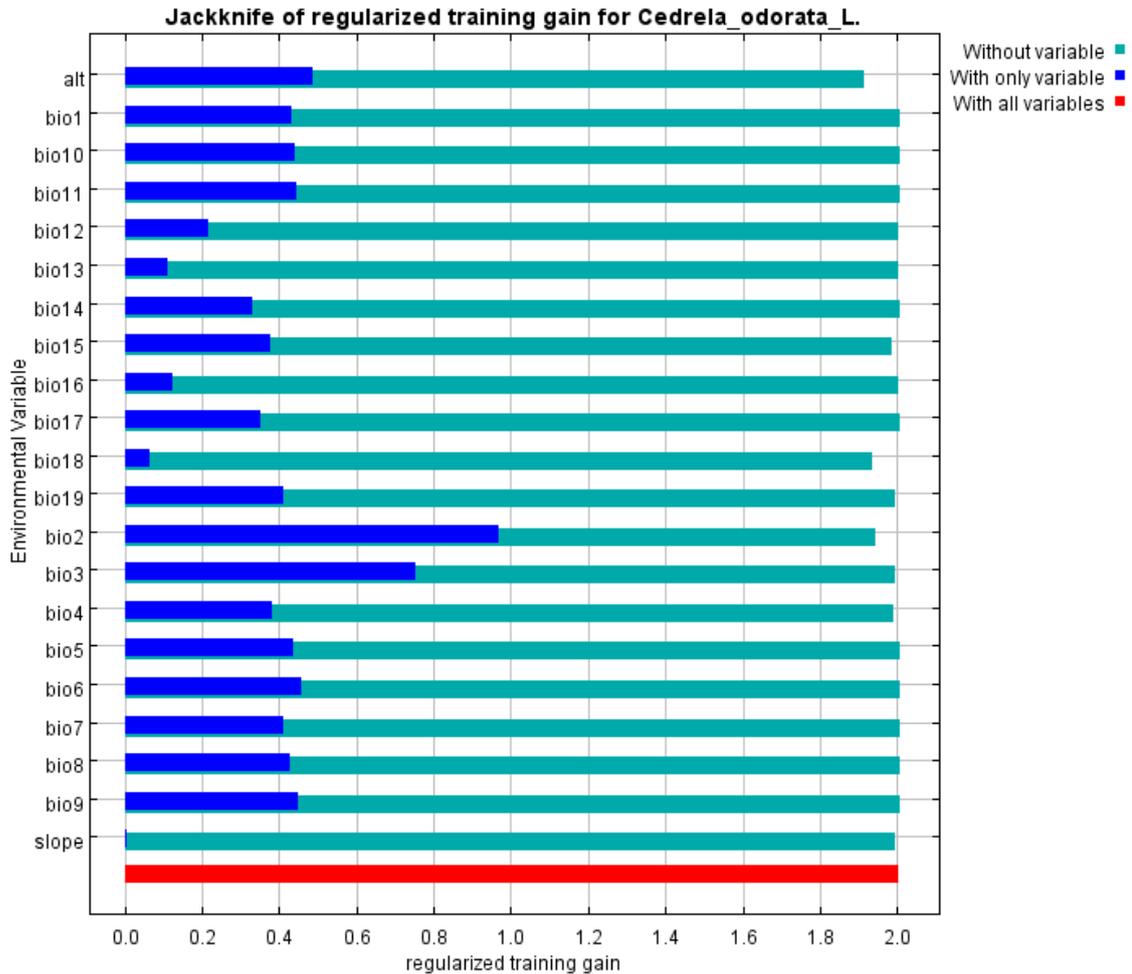
Elaboración propia

Figura 4.5. Análisis de omisión/comisión: Sensibilidad vs 1 – Especificidad para *Cedrela odorata* L. para el periodo 2041 – 2060 bajo un contexto de cambio climático intermedio RCP 4.5 dentro del Bosque de Protección San Matías-San Carlos y su Zona de Amortiguamiento



Elaboración propia

Figura 4.6. Análisis jackknife sobre cada variable para *Cedrela odorata* L. para el periodo 2041 – 2060 bajo un escenario de cambio climático pesimista RCP 4.5 dentro del Bosque de Protección San Matías-San Carlos y su Zona de Amortiguamiento



Elaboración propia

De manera similar, como resultado de la ejecución en el software Maxent 3.4.4. empleando los 99 puntos únicos de ocurrencia y las 21 variables ambientales bajo un escenario futuro de cambio climático pesimista (RCP 8.5) se obtuvo el Mapa 4.3. que muestra, potencialmente, las áreas de mayor y menor probabilidad de ocurrencia de la especie en el área de interés para el periodo 2041 - 2060. Asimismo, se incluyó la capa de pérdida de bosque (áreas deforestadas) para el periodo 2001 – 2020, las cuales, nuevamente, automáticamente adoptan una

probabilidad de ocurrencia de la especie de 0, pues será imposible encontrar cedro en dichas localidades.

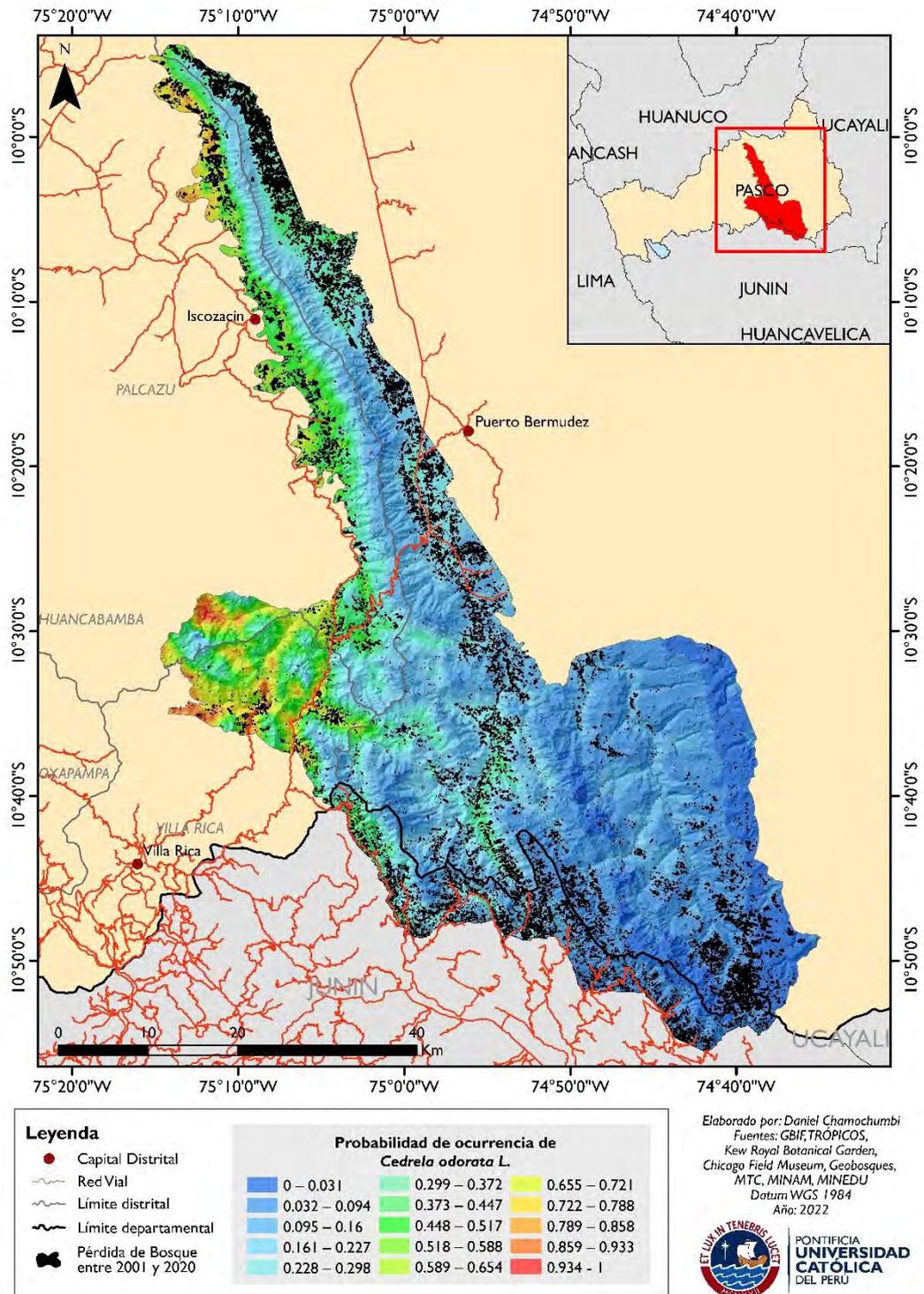
El cálculo del área de mayor probabilidad (>0.788) indicó que existe un total de 2894.27 ha dentro del área de estudio en la cual es muy probable la presencia de cedro. Esta área representa un 1.05% del área total.

Por otro lado, la información correspondiente a todas las áreas calculadas se sintetizó en la Tabla 4.1. Asimismo, se consideró el área total de la zona de estudio y el porcentaje que cada área calculada representa respecto a esta.

De igual manera, se obtuvo una serie de análisis estadísticos que indican el rendimiento del modelamiento: la Figura 4.7. muestra un análisis de la tasa de omisión/comisión, la Figura 4.8. muestra un análisis de sensibilidad del modelamiento y la Figura 4.9. muestra un análisis del peso de cada variable y su aporte en el resultado del modelamiento.

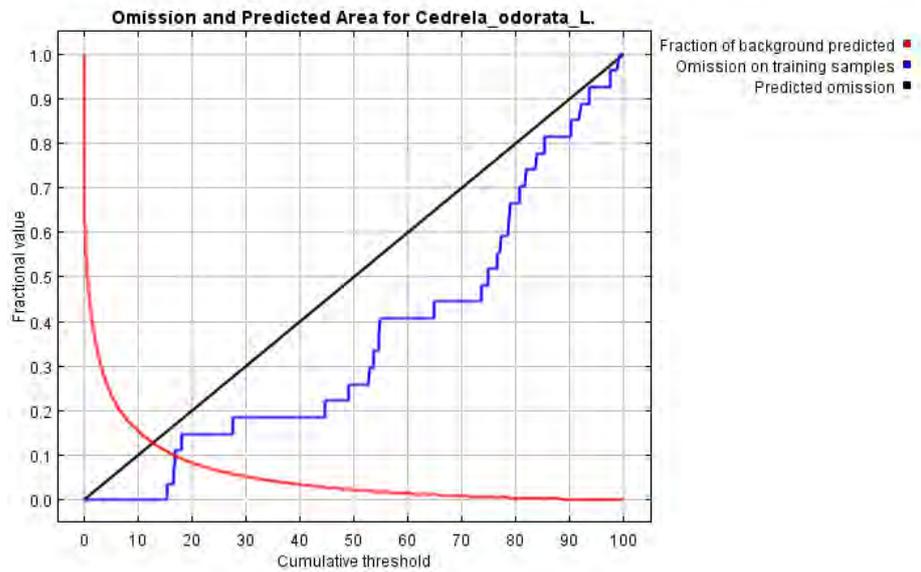


Mapa 4.3. Distribución espacial potencial de *Cedrela odorata* L. (cedro) en el Bosque de Protección San Matías-San Carlos y su Zona de Amortiguamiento para el periodo 2041 – 2060 bajo un escenario de cambio climático pesimista (RCP 8.5)



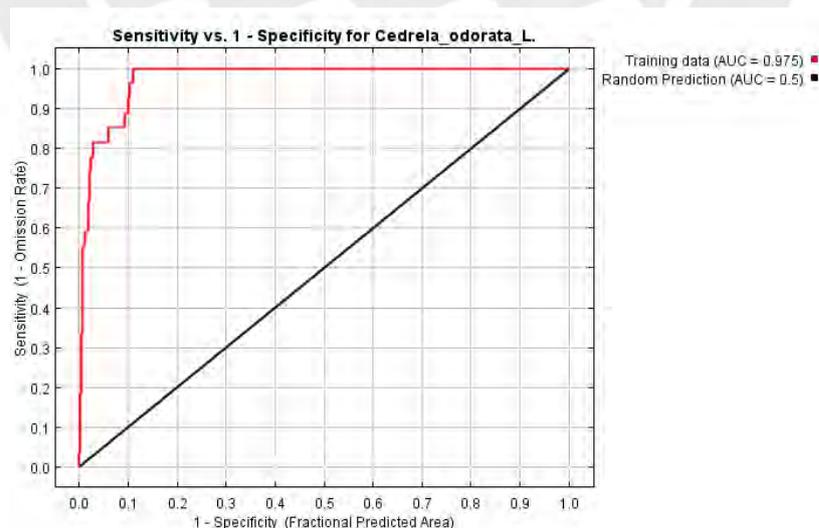
Elaboración propia

Figura 4.7. Análisis de omisión/comisión: omisión y área predicha para *Cedrela odorata* L. para el periodo 2041 – 2060 bajo un escenario de cambio climático pesimista RCP 8.5 dentro del Bosque de Protección San Matías-San Carlos y su Zona de Amortiguamiento



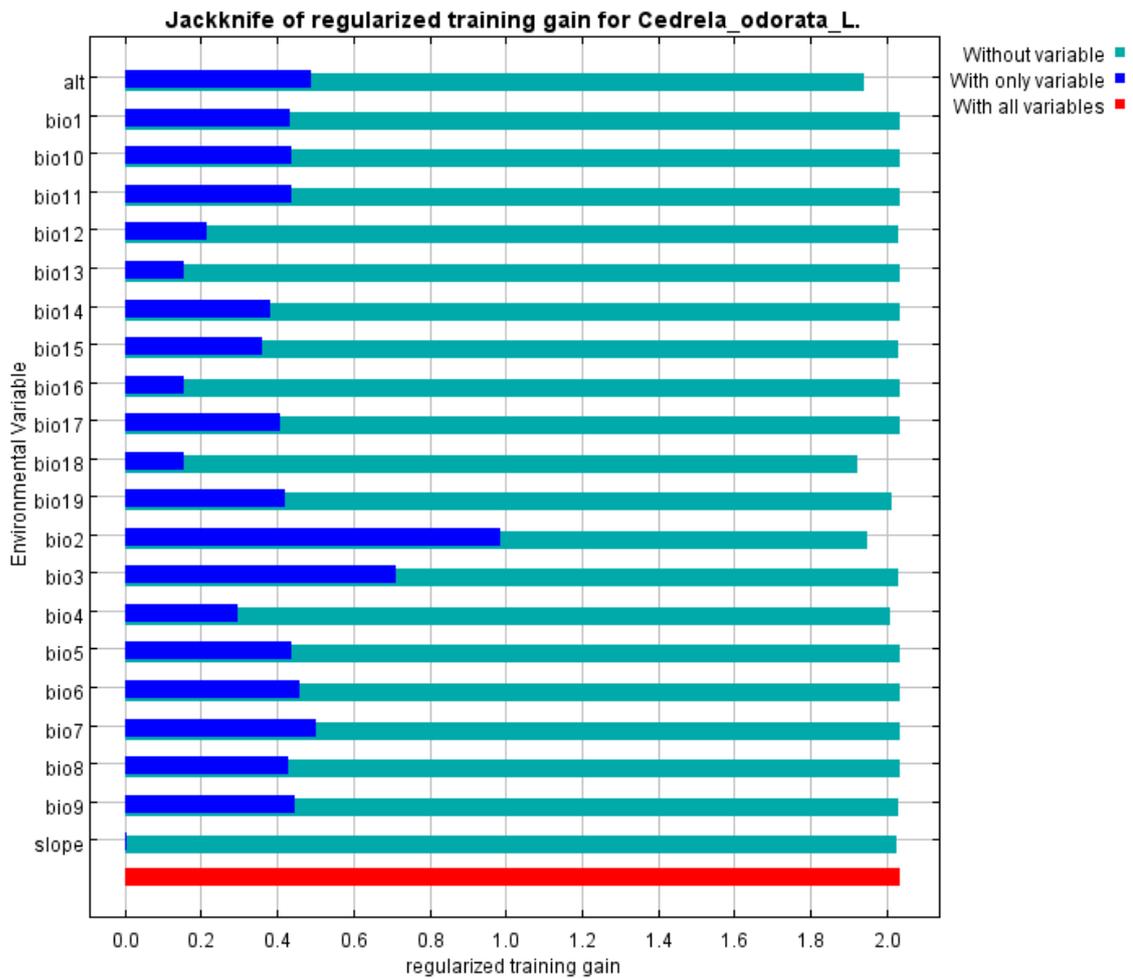
Elaboración propia

Figura 4.8. Análisis de omisión/comisión: Sensibilidad vs 1 – Especificidad para *Cedrela odorata* L. para el periodo 2041 – 2060 bajo un contexto de cambio climático pesimista RCP 8.5 dentro del Bosque de Protección San Matías-San Carlos y su Zona de Amortiguamiento



Elaboración propia

Figura 4.9. Análisis jackknife sobre cada variable para *Cedrela odorata* L. para el periodo 2041 – 2060 bajo un escenario de cambio climático pesimista RCP 8.5 dentro del Bosque de Protección San Matías-San Carlos y su Zona de Amortiguamiento



Elaboración propia

Tabla 4.1. Áreas calculadas correspondientes a las zonas de “Mayor probabilidad” de ocurrencia de cedro (>0.788) para los tres escenarios evaluados

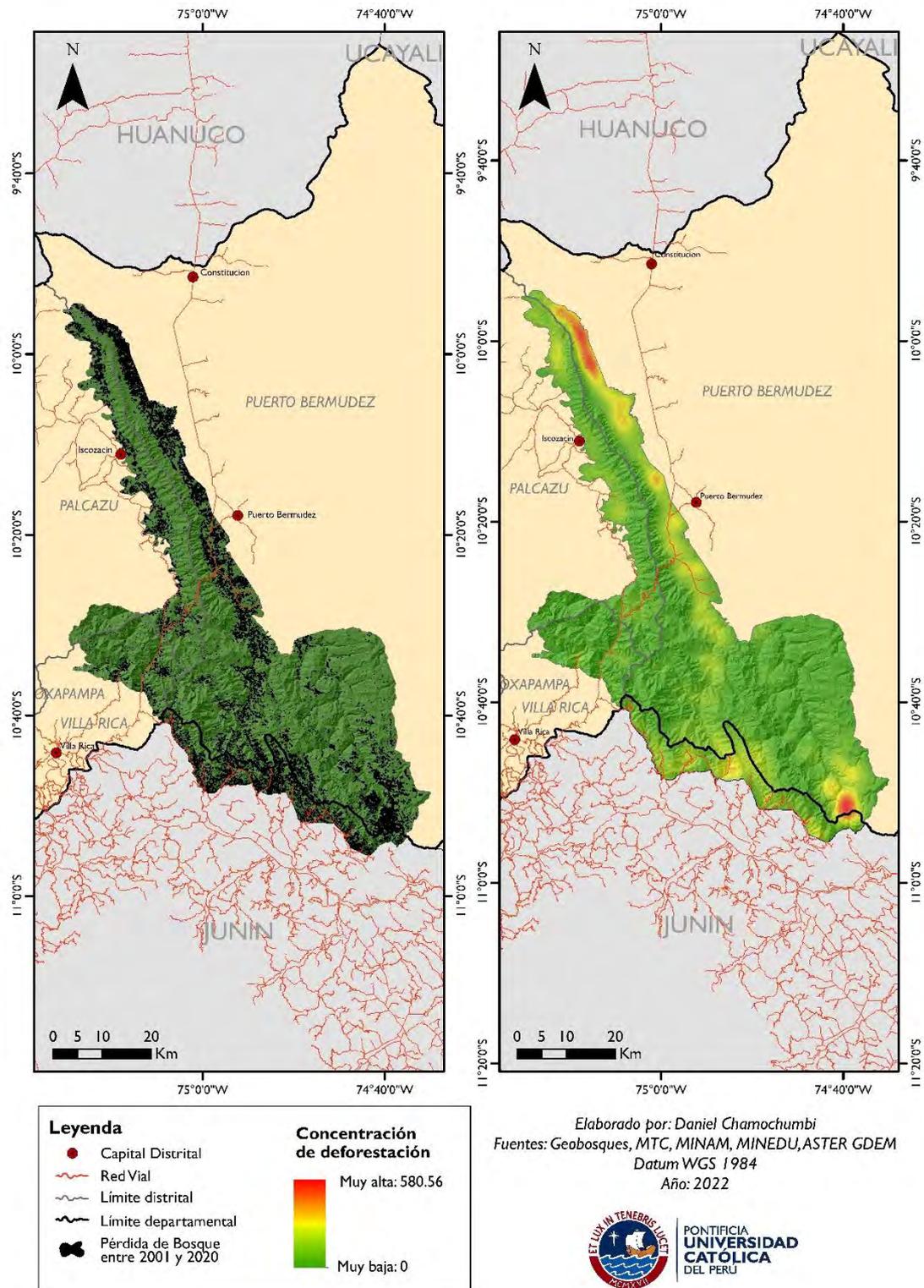
	Ha	%	Área de Mayor Probabilidad de ocurrencia (>0.788)	
			Ha	% del total
Área total	276447.42	100		
	2020		32184.77	11.64
	2050 (RCP 4.5)		5977.59	2.16
	2050 (RCP 8.5)		2894.27	1.05

Elaboración propia

4.3. IDENTIFICACIÓN DE HOTSPOTS DE DEFORESTACIÓN POR ACTIVIDADES ANTRÓPICAS

Según los datos del portal Geobosques, se identificó un total de 21951.08 ha deforestadas en el periodo 2001 – 2020, lo cual corresponde al 7.94% del total del territorio del área protegida y su zona de amortiguamiento.

Mapa 4.4 Deforestación acumulada e identificación de hotspots por actividades antrópicas para el periodo 2001 – 2020 dentro del Bosque de Protección San Matías-San Carlos y su Zona de Amortiguamiento



Elaboración propia

4.4. PÉRDIDA DE BOSQUE PARA EL PERIODO 2001 – 2020 Y 2050

Según los datos obtenidos en el portal de Geobosques⁶, se pudo mapear y calcular el área de pérdida de cobertura boscosa para el área de estudio, la cual está definida por los siguientes valores (ver figura 4.10):

- Área boscosa del 2001 (A1) = **249445.59 ha**
- Área boscosa del 2020 (A2) = **227494.51 ha**
- Pérdida de bosque al 2020 (A1-A2) = **21951.08 ha (7.94% del área total)**

Asimismo, se plasmaron dichos resultados espacialmente a través de la elaboración de dos mapas en el software ArcGis 10.8, en los cuales se puede distinguir las áreas de pérdida de bosque y las zonas de mayor concentración de deforestación mediante la herramienta de densidad de Kernel (Mapa 4.4.) distinguiéndose un rango de valores de 0 a 580.56, en donde las áreas de tonos verdes muestran áreas de menor densidad y las áreas de tonos rojizos las de mayor densidad.

Siguiendo con la metodología estandarizada de Puyravaud (2003) fue posible realizar el cálculo de la tasa de deforestación promedio anual (r), a través de la siguiente fórmula:

$$r = (1/(2020-2001))\ln(227494,51 \text{ ha} / 249445,59 \text{ ha})$$

Resultando una tasa de deforestación anual de $r = -0.5\%$.

En base a este dato es posible calcular, de manera aproximada, el área boscosa para el año 2050 mediante la siguiente fórmula adaptada de la Ley de Interés Compuesto (Puyravaud, 2003):

- Área boscosa al 2021 = $(100\%+r)*A2$

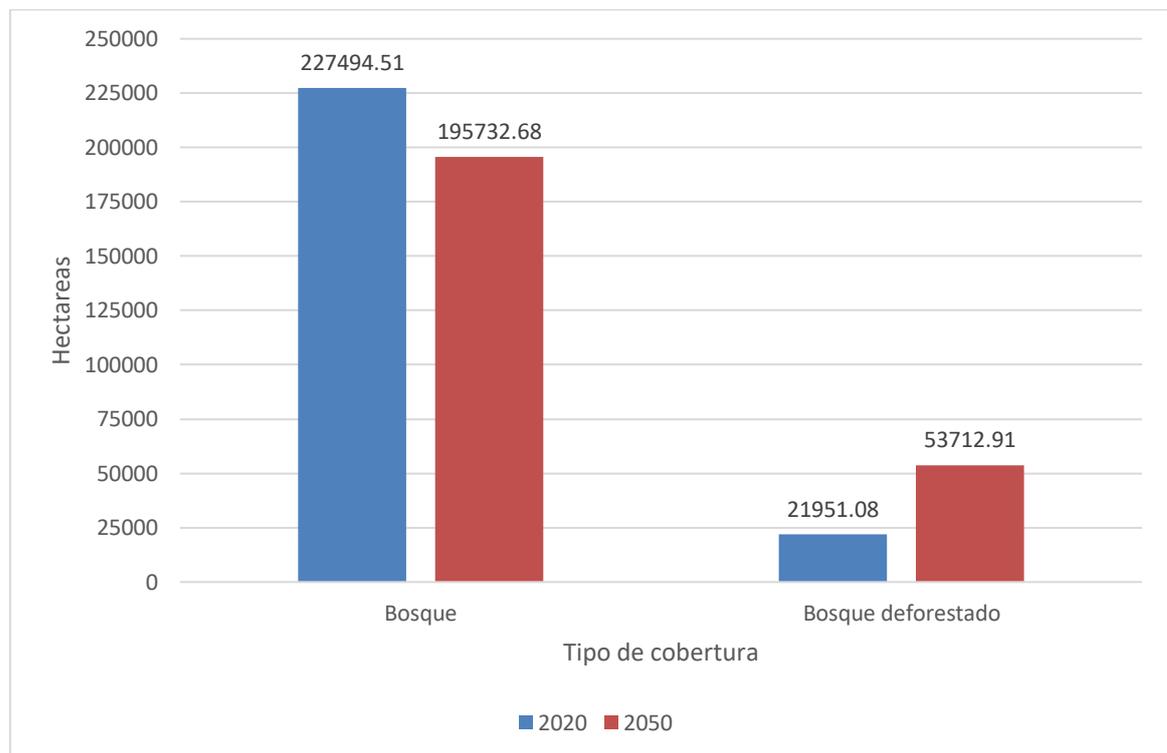
⁶ Fecha de descarga: julio 2021

<https://geobosques.minam.gob.pe/geobosque/view/descargas.php?122345gxxe345w34gg>

- Área boscosa al 2022 = $(100\%+r)^2 \cdot A2$
- ...
- Área boscosa al 2050 ($A3$) = $(100\%+r)^{30} \cdot A2 = 195732.68 \text{ ha}$

Pérdida de bosque al 2050 ($A3-A1$) = **53712.91 ha (19.43% del área total)**

Figura 4.10. Evolución del área de bosque y área de bosque deforestado dentro del área de estudio, para el periodo 2020 – 2050



Elaboración propia

Tabla 4.2. Variación de la cobertura boscosa dentro del área de estudio, para el periodo 2020 – 2050

	2020		2050		Variación	
	Hectáreas	%	Hectáreas	%	Hectáreas	%
Bosque	227494.51	100	195732.68	86.04	-31761.83	-13.94
Bosque deforestado	21951.08	100	53712.91	244.7	+31761.83	+144.7

Elaboración propia

CAPÍTULO 5

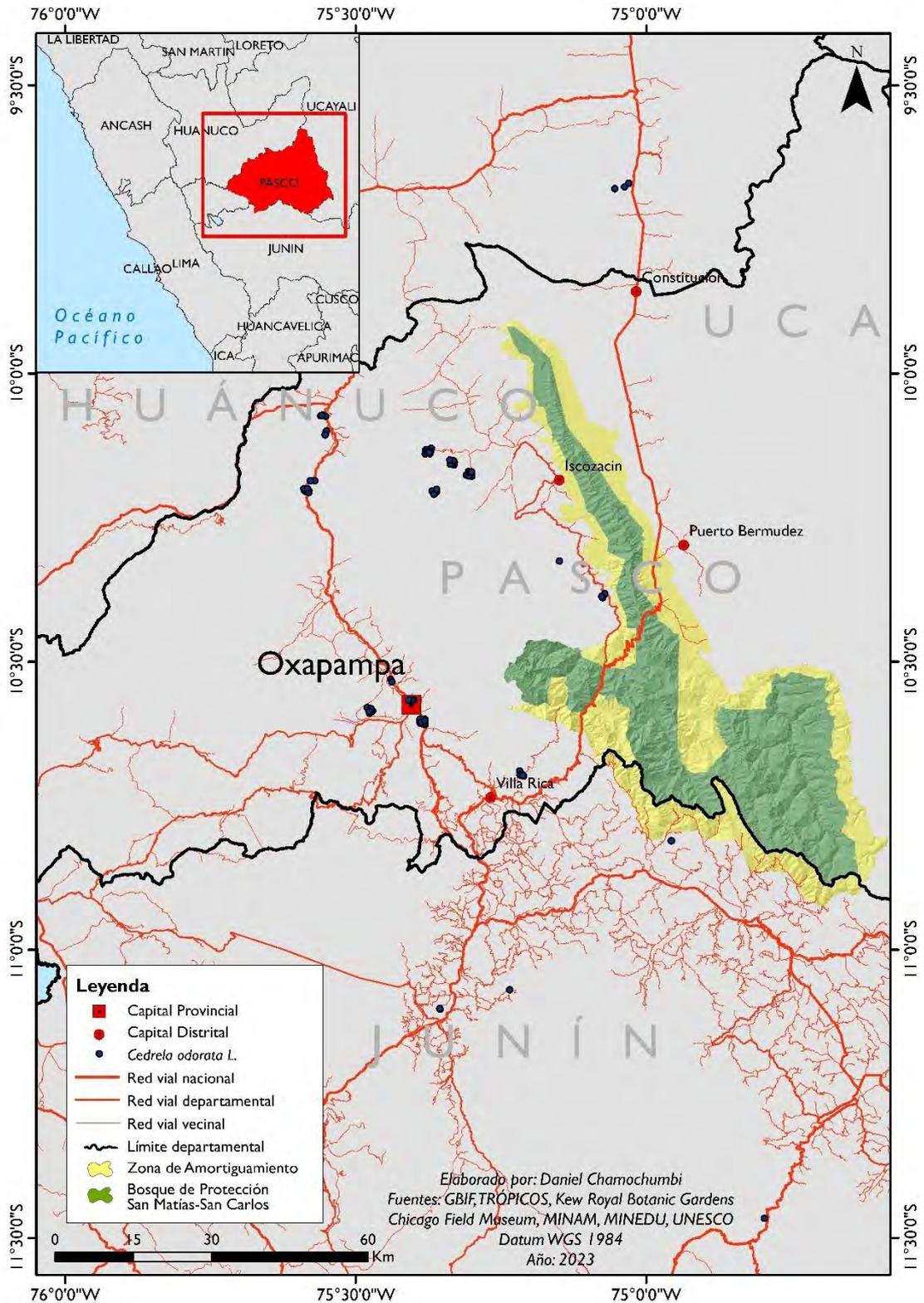
DISCUSIÓN

En esta sección se describe y analiza los resultados presentados en el capítulo anterior. Para ello, se genera una discusión respecto a la información generada y su relación con las dinámicas descritas en el capítulo 1: marco teórico. Asimismo, se comprueba la validez de los métodos empleados y se responde directamente a las preguntas de investigación, contribuyendo al alcance de los objetivos planteados.

5.1. RECOPIACIÓN DE DATOS DE PRESENCIA DEL CEDRO DENTRO DEL ÁREA DE ESTUDIO

Para la recopilación de datos de presencia del cedro se consultaron las bases de datos en línea de diversas colecciones botánicas, tanto nacionales como internacionales, con el objetivo de extraer información georreferenciada de especímenes de cedro colectadas principalmente dentro del Área Natural Protegida de interés y/o en su Zona de Amortiguamiento. Sin embargo, no se encontraron unidades muestrales dentro de las áreas consultadas, tal como se muestra en el Mapa 5.1., por lo que se decidió trabajar con un área de interés mayor, abarcando las regiones de Huánuco, Junín y Pasco.

Mapa 5.1. Registros de presencia de *Cedrela odorata* L. en las regiones Huánuco, Junín y Pasco.

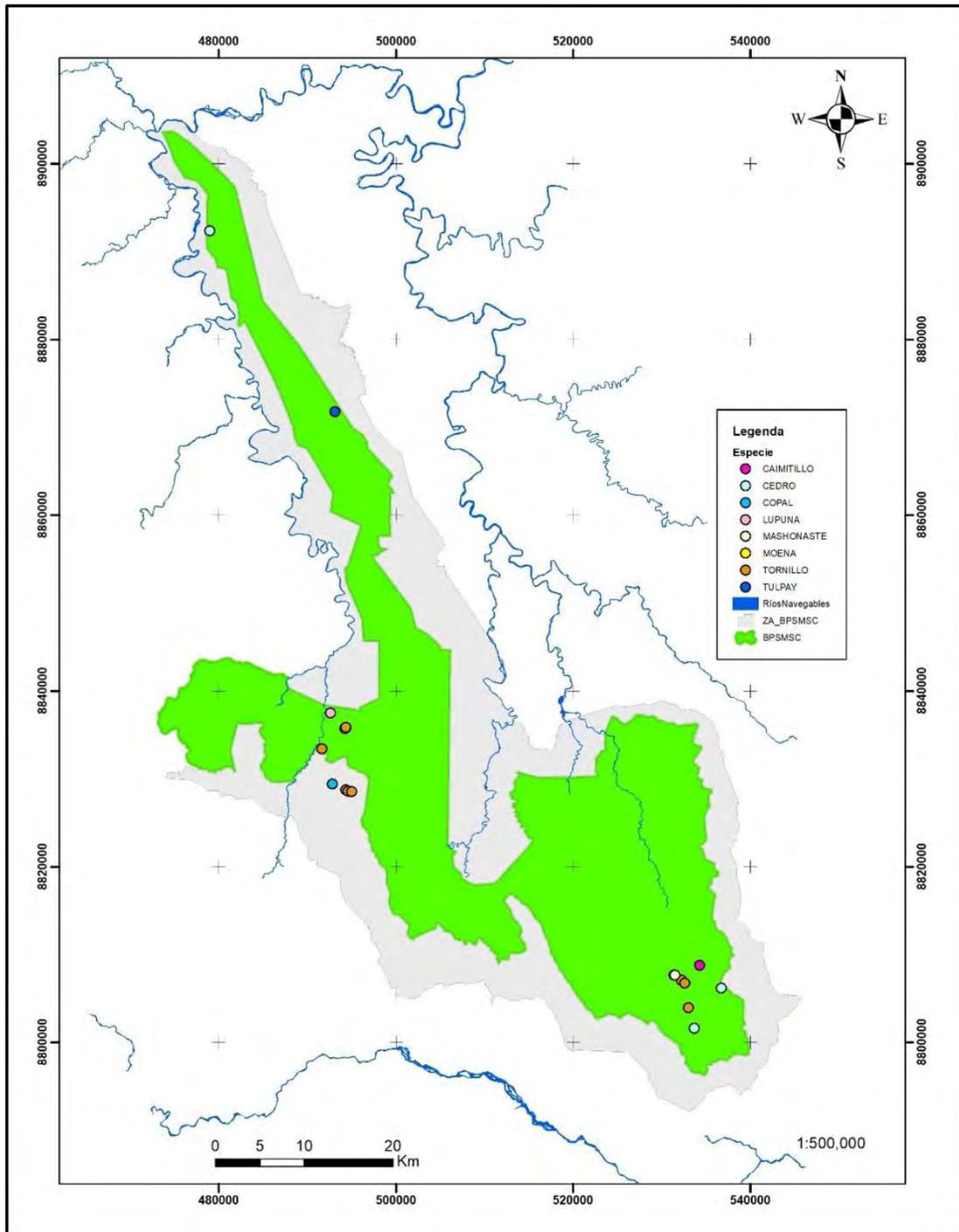


Elaboración propia

Esto demuestra que existen brechas de información con una necesidad urgente de ser atendidas, pues no se posee conocimiento del estado situacional actual de las especies que son objeto de conservación del ANP y, en consecuencia, será muy difícil poder generar acciones efectivas para su conservación dentro del BPSMSC.

Oficialmente, hasta la fecha existe solamente un mapa de ubicación de flora priorizada, para el cual se empleó data hasta el 2019 (Mapa 5.2.), el cual se encuentra en el “Diagnóstico de vigilancia y control del BPSMSC” (SERNANP, 2020a). Este es el que provee de la mejor información existente sobre la distribución espacial de las especies dentro del ANP. Sin embargo, se limita tan solo a señalar tres puntos de ocurrencia para el cedro, lo cual, evidentemente, es insuficiente para poder estimar con precisión las zonas de distribución real de esta especie.

Mapa 5.2. Ubicación de flora priorizada (2019)



Fuente: SERNANP (2020a)

Los resultados de la presente investigación corresponden a un acercamiento de mayor precisión y que, además, servirán como medio de verificación de las metas y objetivos planteados en el Plan Maestro para una de las especies contempladas como objeto de conservación dentro del ANP. De igual manera, la generación de

dos escenarios futuros advierte el potencial comportamiento de la distribución geográfica de la especie en mención hacia el periodo 2041 - 2060, tomando en cuenta las posibles condiciones ambientales y, además, la presión antrópica que sufre por actividades como la tala ilegal y el cambio de uso de suelo. Se espera que estas proyecciones puedan contribuir en la formulación de políticas públicas y en la toma de decisiones por las autoridades en favor de la conservación (Scheldeman *et al.*, 2011).

Por otro lado, es fundamental recalcar la importancia de promover la investigación para la generación de inventarios forestales de las especies forestales priorizadas dentro de las ANP. Dichos inventarios deben contar con información georreferenciada de cada espécimen colectado para poder emplearlos como insumos para los modelamientos y, en consecuencia, para la toma de decisiones de las autoridades competentes.

5.2. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL POTENCIAL DE *CEDRELA ODORATA L.* (CEDRO) EN EL BOSQUE DE PROTECCIÓN SAN MATÍAS-SAN CARLOS Y SU ZONA DE AMORTIGUAMIENTO

Para la presente investigación se decidió emplear una capa de elevación y una de pendientes (además de las 19 variables bioclimáticas) dentro de los predictores ambientales considerados en los modelamientos. Esto debido a las características propias de la especie a modelar, pues el cedro es una especie forestal que habita ecosistemas de selva alta, predominantemente, y se estima que su distribución comprende a zonas desde los 0 hasta los 1500 msnm.

Una vez obtenidos los resultados del modelamiento se generó el Mapa 4.1., en el cual se distingue que el cedro tiene una probabilidad de ocurrencia muy alta en la zona norte del ANP, específicamente en la zona de control perteneciente al norte del sector Palcazú, subsectores Mayro y Alto San Matías; así como la zona oeste del sector Bella Esperanza – Villa Rica, subsector Azulis.

Entrando más a detalle en los resultados obtenidos, en primer lugar, se obtuvieron las Figuras 4.1., 4.4. y 4.7. sobre el análisis de la tasa de omisión/comisión, el cual es una estadística que muestra el rendimiento del modelamiento. Para este caso, la omisión se refiere a aquellos puntos que, a pesar de existir y haber sido considerados en el procesamiento, han sido asignados como puntos ausentes (falsos negativos). Por otro lado, la comisión se refiere a aquellos puntos que el modelamiento asignó como presentes, a pesar de no haber sido considerados en el procesamiento, es decir, sin haber sido asignados con datos de latitud y longitud. En general, los tres gráficos muestran una buena correlación entre la omisión predicha (línea negra) y la omisión de muestras de entrenamiento (línea azul); es decir, no se encuentran demasiado distantes entre sí, lo cual indica que la correlación que existe entre los datos de prueba y de entrenamiento demuestra un modelamiento válido (Phillips, 2017).

En segundo lugar, se obtuvieron las Figuras 4.2., 4.5. y 4.8. sobre el análisis de sensibilidad vs 1-Especificidad. Este es un parámetro utilizado para evaluar la capacidad de predicción del modelamiento y analiza el Área por Debajo de la Curva (AUC, por sus siglas en inglés) de la Curva de Característica Operativa Relativa (ROC, por sus siglas en inglés) que se muestra de color rojo.

El Área por debajo de la Curva es la mayor probabilidad de que un punto de ocurrencia seleccionado aleatoriamente se encuentre ubicado en una celda ráster con un valor alto de probabilidad de ocurrencia que un punto escogido de manera aleatoria (Phillips *et al.*, 2006). Para ello, ha de tener en cuenta que un modelo posee una mayor capacidad de predicción cuando el valor AUC se acerca más a 1. Para el caso de la presente investigación, los tres modelamientos efectuados registraron un valor por encima de 0.9 (0.943, 0.975, 0.975), lo cual, según Araújo *et al.* (2005), representa un desempeño excelente.

Finalmente, se obtuvieron las Figuras 4.3., 4.6. y 4.9. sobre el análisis jackknife para cada variable. Esta prueba determina la ganancia o el peso que aporta cada

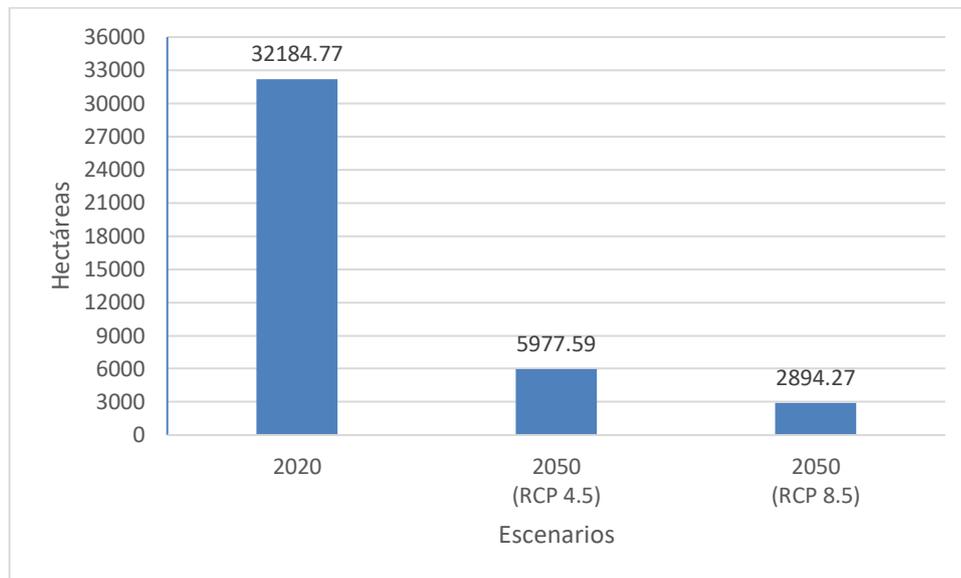
variable al modelo y, así, poder conocer la importancia de cada una con relación a la distribución potencial de la especie. Las barras azules muestran la ganancia obtenida para el modelo solamente tomando en cuenta dicha variable, mientras que las barras de color verde muestran la pérdida sin dicha variable. Por otro lado, la barra roja representa la ganancia con todas las barras juntas, lo cual significa la totalidad del modelo.

En base a la prueba jackknife, se puede observar que las variables que mayor peso aportaron al modelo fueron la BIO2: Intervalo medio diurno (media mensual (T° máx. – T° mín.)), BIO13: Precipitación del mes más lluvioso y BIO7: Rango anual de temperatura (BIO5-BIO6), para el modelamiento que corresponde al presente; mientras que, para ambos modelamientos futuros, las variables más importantes fueron la BIO2 y la BIO3: Isotermalidad (BIO2/BIO7).

Estos resultados muestran que el cedro es una especie forestal particularmente sensible a los cambios en la temperatura y precipitación de su entorno, y que, además, su distribución geográfica se ve condicionada a estos patrones climáticos. Es por ello que se puede observar una considerable reducción en el área de mayor probabilidad de ocurrencia (>0.788) para los tres escenarios modelados (Figura 5.1., Tabla 5.1. y Mapa 5.3.), pues ésta pasa de tener un aproximado de 32184.77 ha bajo las condiciones climáticas actuales a un total de 5977.59 ha para un escenario intermedio de cambio climático, e incluso llegar a presentar un total de 2894.27 ha en el escenario climático futuro pesimista.

Es decir, la distribución geográfica de estas zonas experimentará una reducción de cerca del 81.43% bajo un escenario climático futuro intermedio. Por otro lado, dicha reducción será de hasta el 91% para el escenario climático futuro pesimista dentro del Bosque de Protección San Matías-San Carlos y su Zona de Amortiguamiento.

Figura 5.1. Evolución potencial del área de mayor probabilidad (>0.788) de ocurrencia de cedro dentro del área de estudio, para el periodo 2020 – 2050



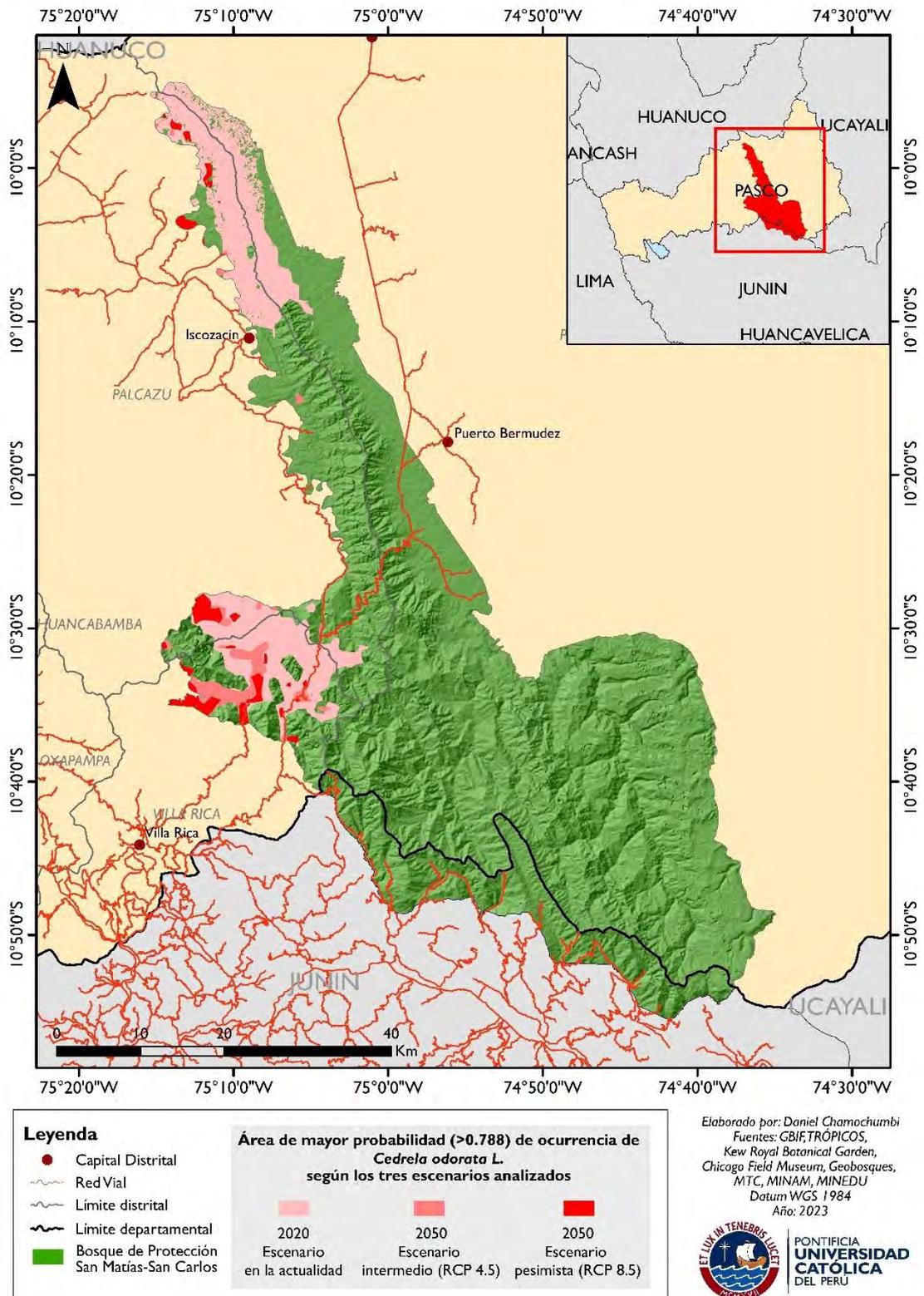
Elaboración propia

Tabla 5.1. Variación del área de mayor probabilidad (>0.788) de ocurrencia de cedro dentro del área de estudio, para el periodo 2020 – 2050

	2020		2050 (RCP 4.5)			2050 (RCP 8.5)		
	Ha	%	Ha	%	Δ%	Ha	%	Δ%
Probabilidad muy alta	32184.77	100	5977.59	18.57	-81.43	2894.27	9	-91

Elaboración propia

Mapa 5.3. Evolución potencial del área de mayor probabilidad (>0.788) de ocurrencia de cedro dentro del área de estudio, para el periodo 2020 – 2050



Elaboración propia

No obstante, es necesario precisar que se tratan de simulaciones que emplean escenarios de cambio climático potenciales, las cuales, según Lamont *et al.* (1996), deben ser tomadas con cautela ya que tienen a sobreestimar el declive al no considerar la capacidad adaptativa in situ propia de las especies.

5.3. AMENAZAS HACIA LAS POBLACIONES DE CEDRO DENTRO DEL BOSQUE DE PROTECCIÓN SAN MATÍAS-SAN CARLOS Y SU ZONA DE AMORTIGUAMIENTO

Para la identificación de las amenazas es necesario considerar diversos factores, entre los cuales destacan el constante aumento de la deforestación para esta ANP y su ZA debido a actividades antrópicas y variaciones en el clima ocasionadas por efectos del cambio climático.

Según la tasa de deforestación anual calculada, se obtuvo un valor de -0.5%, lo cual permite conocer, de manera aproximada, el área deforestada para el año 2050 (promedio entre el periodo 2041 - 2060). Se percibe una reducción de área boscosa importante, pasando de 227494.51 ha de bosque en el 2020 a 195732.68 ha para el 2050 (figura 4.10.). Ello significa una reducción de 31761.83 ha o en un 13.96%, y elevando el área total deforestada acumulada en el ANP y su ZA desde el 2001 al 2050 a 53712.91 ha.

Esto muestra que en un periodo de 30 años a futuro el área deforestada en la zona de estudio pasará de 21951.08 ha en el 2020 a 53712.91 ha en el 2050, aumentando el área de bosque deforestado en 31761.83 ha o en un 144.7%, aproximadamente. Ello significa que para el año 2050 el 19.43% del área total del ANP y su ZA será de bosque deforestado, esto es casi 1/5 del total del territorio, una cifra realmente alarmante.

Según Soares-Filho *et al.* (2006), si es que se mantiene la tendencia actual respecto a la expansión agrícola se espera que para 2050 esta haya ocasionado la pérdida del 40% de los bosques amazónicos, repercutiendo en la emisión de sustanciales cantidades de carbono a la atmósfera. Esta disminución de bosque

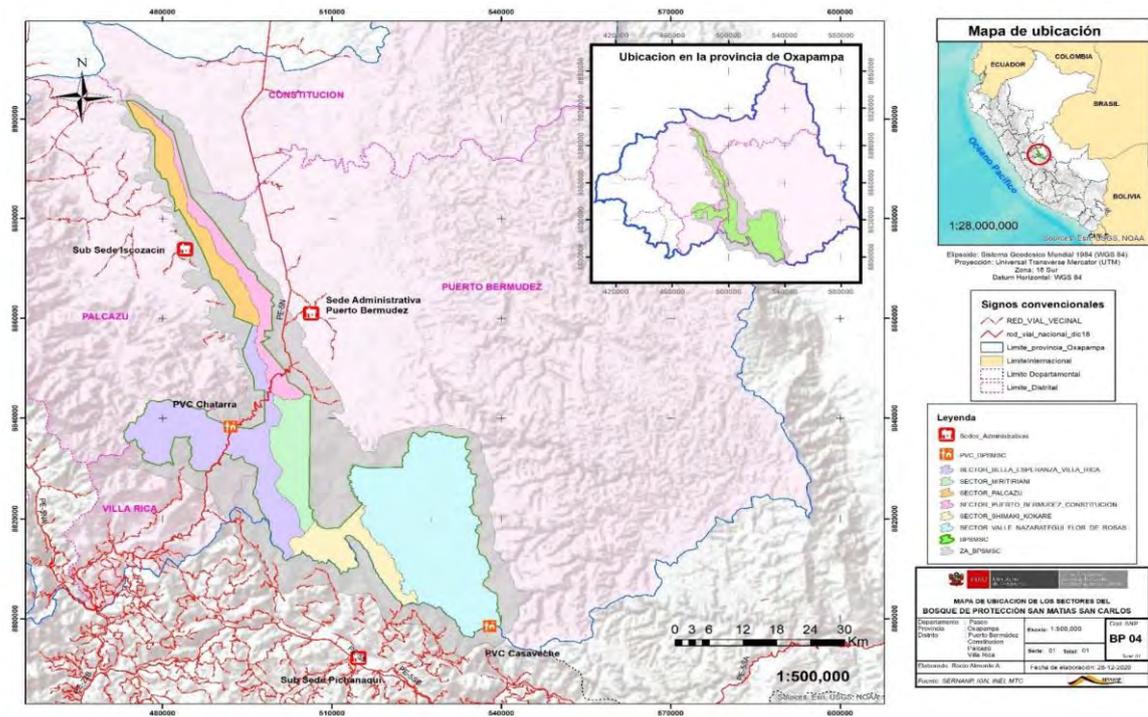
indudablemente afectaría también la distribución geográfica del cedro en el ANP y su ZA, reduciendo aún más el área de mayor probabilidad de presencia de la especie a futuro.

Según se puede observar en el mapa 4.4., existen dos grandes zonas de concentración de áreas deforestadas. La primera de ellas en la Zona de Amortiguamiento al norte del ANP, específicamente en la zona de control perteneciente al norte del sector Puerto Bermúdez – Constitución y subsector Alto San Matías, justamente una de las zonas de probabilidad más alta de presencia de cedro. Por otro lado, la segunda se ubica al sureste del ANP, específicamente en la zona de control perteneciente al sureste de los sectores Valle Nazarategui – Flor de Rosas y subsector Cumbre La Unión, una de las zonas que presenta una probabilidad muy baja de presencia de cedro.

Asimismo, contrastando con el Mapa 5.6., se puede notar que se concentra una gran actividad ganadera en la zona noroeste de la cordillera. No obstante, no corresponde a la zona de mayor concentración de deforestación que se agrupa, más bien, en la parte noreste de la cordillera. Según el mapa en mención, no se desarrollan actividades antrópicas de gran extensión en el sector más deforestado, por lo que podría dar indicios de tratarse de actividades no registradas o ilegales, como la tala selectiva (ilegal), probablemente.

Sin embargo, según el mapa de Ámbitos controlados del Bosque de Protección San Matías San Carlos (Mapa 5.4.) (SERNANP, 2020b), existen solamente dos Puestos de Vigilancia y Control (PVC) en el ANP, así como tres sedes administrativas colindantes, pero ninguna de ellas se encuentra ubicada en el sector norte.

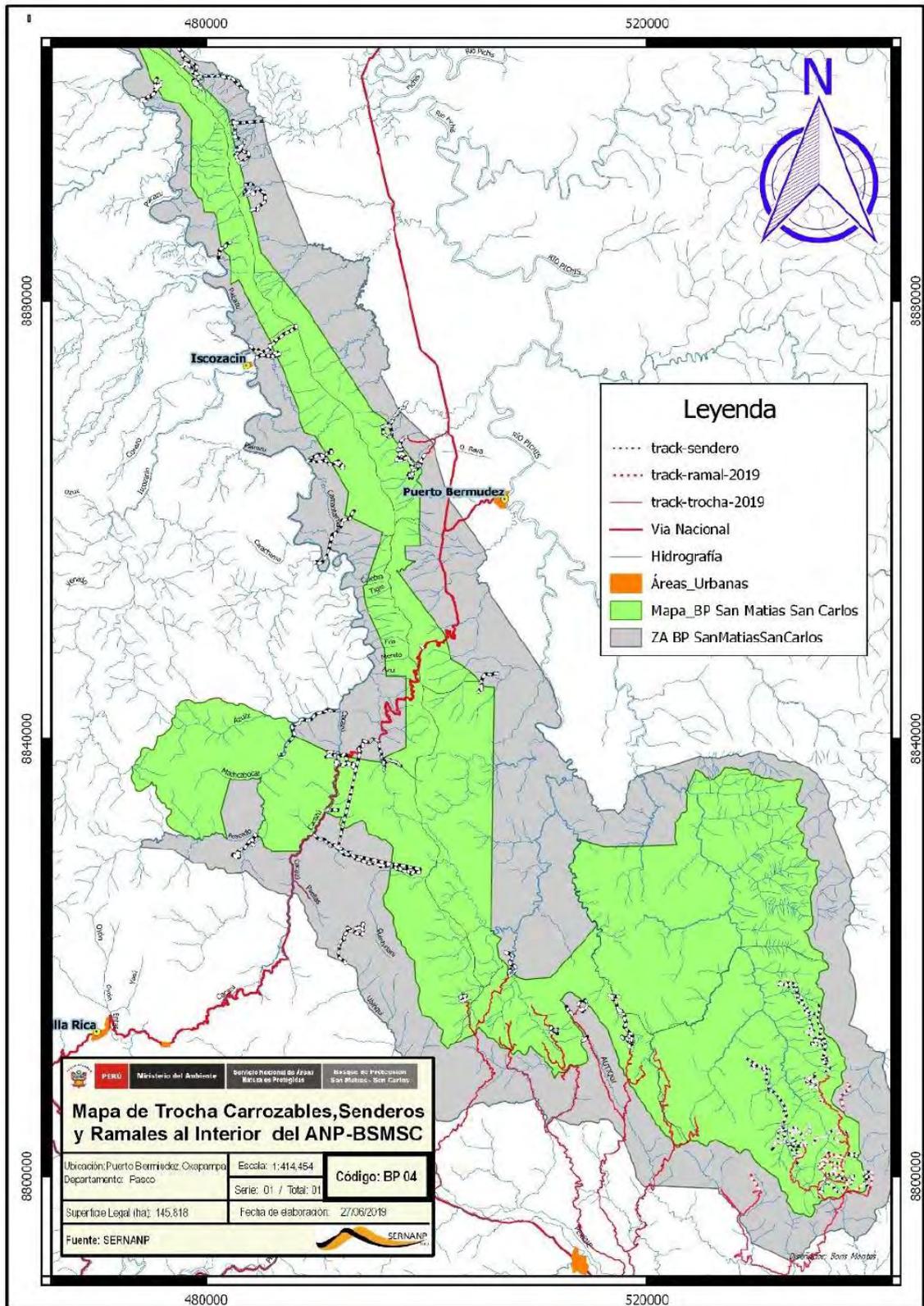
Mapa 5.4. Ámbitos controlados del Bosque de Protección San Matías San Carlos



Fuente: SERNANP, 2020b

Por otro lado, contrastando de la misma manera la zona deforestada en la parte sureste se puede notar que se trata de un sector altamente intervenido por actividades antrópicas entre las que destacan la agricultura y transporte. Incluso, se ha podido identificar que en esta zona existen una serie de vías de acceso aperturadas ilegalmente, tal como se muestra en el Mapa 5.5, lo cual ha generado las condiciones necesarias para que sea de las más afectadas por presión antrópica.

Mapa 5.5. Trochas carrozables, senderos y ramales al interior del ANP-BPSMSC



Fuente: SERNANP (2020a)

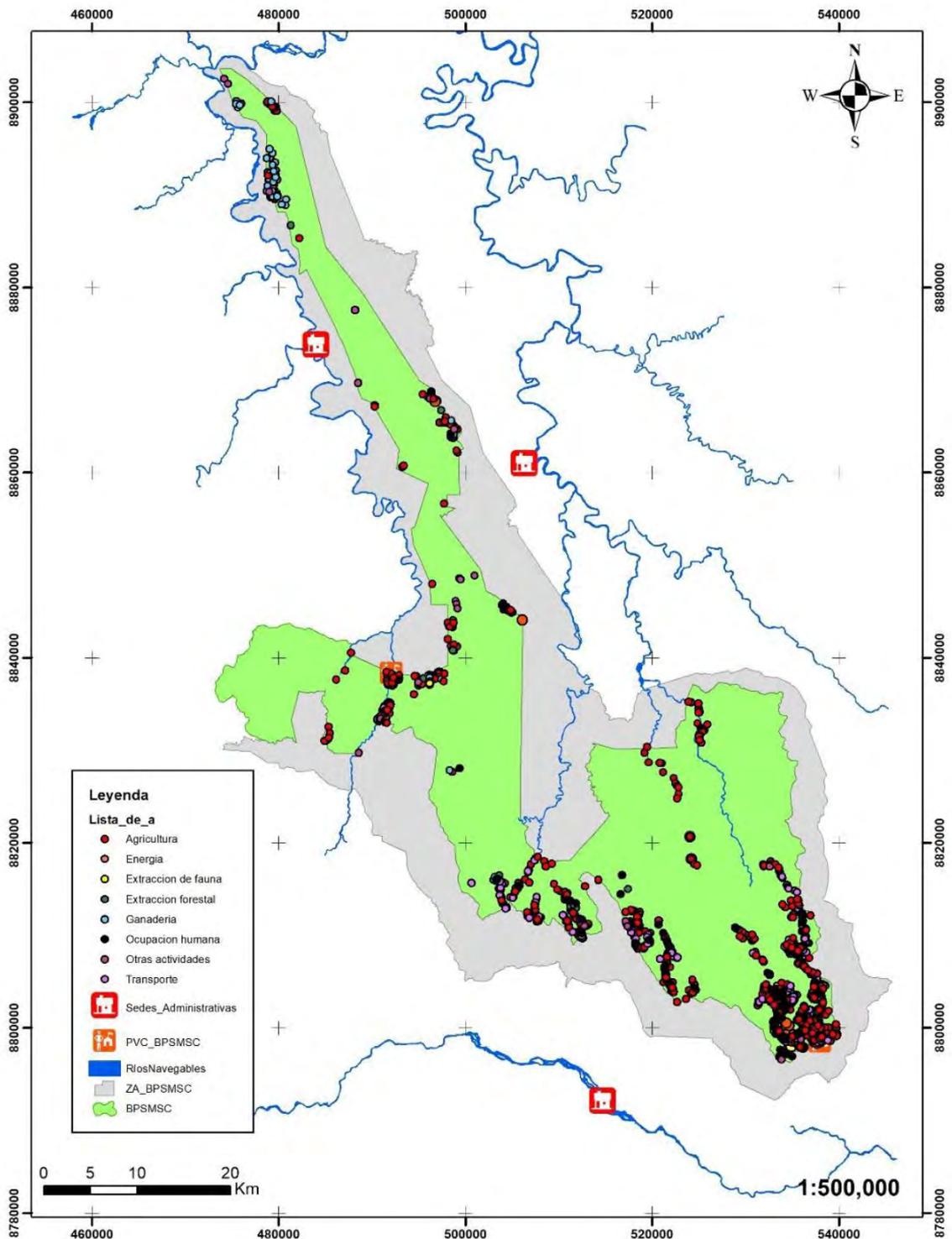
Sin embargo, las actividades que se desarrollan tendrían una baja afectación hacia esta especie en particular, pues no existe un solapamiento con las zonas de mayor probabilidad de presencia de cedro (Mapa 4.1.).

Según el ex jefe del Bosque de Protección, Genaro Yarupaitan, para el año 2016 las principales causas de deforestación dentro del ANP eran los cultivos de parcelas agrícolas pequeñas, de entre 1 a 5 ha, ocasionada, predominantemente, por migrantes provenientes de la sierra de Junín o Ayacucho (Mongabay, 2016).

Adicionalmente, mediante el “Diagnóstico de vigilancia y control del BPSMSC” (SERNANP, 2020a) se realizó una identificación y análisis de las amenazas directas, las cuales fueron categorizadas en cuatro clases: baja, media, alta y muy alta. Ello de acuerdo con la evaluación de tres criterios: alcance, irreversibilidad y severidad. Según la ponderación de estos fue que se determinaron como amenazas Muy Altas para la flora silvestre (tornillo, cedro, ulcumanu, otros): el cambio de uso de suelo para agricultura – café, kion y productos panllevar; y la ocupación humana por establecimiento de centros poblados y/o otorgamiento de derechos de tierra estableciendo y reconocimiento nuevas comunidades nativas, y/o predios privados.

Mientras tanto, se determinó como amenaza Alta los efectos del cambio climático y, finalmente, como amenazas Medias: la tala selectiva de madera (ilegal) y la extracción no regulada de recursos forestales no maderables.

Mapa 5.6. Actividades humanas al interior del BPSMSC.



Fuente: SERNANP (2020a)

Además de ello, a esto se le suma un historial de presuntos actos de corrupción por parte de las autoridades locales que no solo atentan contra la conservación del Área Natural Protegida, sino que también ponen en riesgo a miles de

habitantes de las comunidades y centros poblados colindantes debido a que han contribuido a la generación de las condiciones para la creación de mafias en estas zonas, pues han incentivado la explotación de los recursos madereros de manera ilegal (Ipenza, 2010; García-Calderón *et al.*, 2013; Andina, 2016).



CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este último capítulo se describirán las conclusiones a las que se llegó de acuerdo con cada uno de los objetivos planteados. Además, como consideraciones finales, se generarán algunas propuestas a manera de siguientes pasos para continuar fortaleciendo la gestión y el manejo efectivo del Bosque de Protección San Matías-San Carlos y su Zona de Amortiguamiento en pro de la conservación de una las especies que se encuentran en su interior.

En primer lugar, se determinó que existe un área que asciende a 32184.77 ha (11.64% del total) en la que la probabilidad de distribución del cedro dentro del Bosque de Protección San Matías-San Carlos y su Zona de Amortiguamiento para la actualidad es muy alta; es decir, es muy probable que se pueda encontrar cedro en dichas áreas. Ello se obtuvo mediante la generación de un Modelamiento de Distribución de Especies (MDE) empleando datos de presencia de la especie y predictores ambientales.

En segundo lugar, considerando un escenario de cambio climático intermedio (RCP 4.5), se determinó que existe un área que asciende a solo 5977.59 ha (2.16% del total) en la que la probabilidad de distribución del cedro dentro del Bosque de Protección San Matías-San Carlos y su Zona de Amortiguamiento para el periodo 2041 – 2060 es muy alta. De igual manera, considerando un escenario de cambio climático pesimista (RCP 8.5), esta área asciende a tan solo 2894.27 ha (1.05% del total). Es así que se calculó una alarmante reducción del área de mayor probabilidad de distribución del 81.43% para el escenario climático futuro intermedio, y una reducción de hasta el 91% para el escenario climático futuro pesimista.

Finalmente, se determinó que las zonas de mayor presión de deforestación por actividades antrópicas hacia la especie forestal *Cedrela odorata* L. (cedro) están ubicadas al noreste del Área Natural Protegida, concentradas específicamente en la Zona de Amortiguamiento colindante con el subsector Alto San Matías, dentro del sector Puerto Bermúdez – Constitución, al noreste de la cordillera San Matías, pues es aquí donde se identifica un solapamiento entre las áreas de mayor concentración de deforestación y mayor probabilidad de distribución de cedro.

Es así como la presente tesis contribuye al cierre de brechas de información imprescindible para una toma de decisiones que esté basada en ciencia por parte de las autoridades. Sin embargo, se exhorta tener a bien considerar los siguientes aspectos para el futuro:

1. Es clave promover la investigación e innovación que aporte con el cumplimiento de sus objetivos de conservación tanto a nivel de Área Natural Protegida como de Reserva de la Biosfera. Para ello, se sugiere considerar la implementación de la generación de inventarios forestales para las distintas especies priorizadas, con el objetivo de facilitar su monitoreo y asegurar su conservación en la agenda de prioridades de investigación para el sistema, la cual se encuentra en proceso de elaboración (SERNANP, 2020a).
2. En base a los resultados obtenidos se recomienda generar inventarios de los bosques de cedro para las zonas identificadas como de mayor probabilidad de distribución. Esto con el objetivo de calibrar los modelamientos con información de mayor precisión.
3. En base a los resultados obtenidos, se recomienda a la jefatura del ANP fortalecer el control y vigilancia de la zona noreste del BPSMSC mediante la implementación de un Puesto de Vigilancia y Control (PVC) adicional, específicamente, en el subsector Alto San Matías, sector Puerto Bermúdez – Constitución, ya que es donde existe un solapamiento entre las áreas de

mayor concentración de deforestación y mayor probabilidad de distribución de cedro.

4. Se recomienda la realización de estudios complementarios a la presente tesis con el objetivo de generar modelamientos futuros de deforestación, pues será un complemento ideal para poder conocer con mayor precisión la distribución futura de las especies de flora priorizadas.
5. Finalmente, se sugiere promover espacios de articulación interinstitucional entre entidades públicas, privadas, la academia, sociedad civil y las comunidades locales. Ello con el objetivo de buscar cubrir las necesidades de los distintos actores mediante acciones conjuntas que contribuyan al desarrollo sostenible del ANP.

La presente tesis significa un pequeño avance en la contribución al conocimiento y monitoreo de una de las especies priorizadas en el Plan Maestro vigente del Bosque de Protección San Matías-San Carlos, con el objetivo final de lograr un desarrollo sostenible de los bosques amazónicos en el Perú.

BIBLIOGRAFÍA

Aguilar-Amuchastegui, N., Riveros, J.C. & Forrest, J.L. (2014). Identifying áreas of deforestation risk for REDD+ using a species modeling tool. <https://doi.org/10.1186/s13021-014-0010-5>

Aguilar, C., Martínez, E. & Arriaga, L. (2000). Deforestación y fragmentación de ecosistemas: ¿qué tan grave es el problema en México? *Biodiversitas*, 30(1), 7-11. <http://bioteca.biodiversidad.gob.mx/janium/Documentos/7076.pdf>

Aguirre, A. (2002). Proyecto para la producción y exportación de cedro en las provincias del Guayas. Tesis de pregrado. Escuela Superior Politécnica del Litoral – Instituto De Ciencias Humanísticas Y Económicas. Guayaquil, Ecuador. <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/3860/1/6387.pdf>

Andina – Agencia Peruana de Noticias. (10 de mayo de 2016). Dictan sentencias por deforestación en ANP San Matías-San Carlos y Yanasha. Recuperado de: <https://andina.pe/agencia/noticia.aspx?id=611980>

Araújo, M. B., Pearson, R. G., Thuiller, W., & Erhard, M. (2005). Validation of species–climate impact models under climate change. *Global change biology*, 11(9), 1504-1513. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2005.01000.x>

Beraún, J. & Villanueva, H. (2016). Clasificación de las regiones naturales del Perú. *Boletín del Colegio de Geógrafos del Perú*, 3. <https://www.academia.edu/download/52191368/09.pdf>

Baldwin, R. A. (2009). Use of maximum entropy modeling in wildlife research. *Entropy*, 11(4), 854-866. <https://doi.org/10.3390/e11040854>

Biodiversity and Climate Change Virtual Laboratory (BCCVL). (2021). MAXENT. Consultado el 29 de diciembre de 2021: <https://support.bccvl.org.au/support/solutions/articles/6000083216-maxent>

Calderón, L. G. (2012). La fragilidad de nuestros bosques protegidos. *Revista Quehacer*, (187), 98-106. <http://www.desco.org.pe/recursos/sites/indice/830/2465.pdf>

Calle, I. & Brehaut, I. (2007). Manual educativo: El ABC de las áreas naturales protegidas y la superposición de lotes de hidrocarburos. Sociedad Peruana de Derecho Ambiental – SPDA. <http://www.iiap.org.pe/upload/publicacion/publ402.pdf>

Calvo, E. (2014). Amazonía y cambio climático: perspectivas, oportunidades y amenazas. Resúmenes de las ponencias realizadas en el seminario CNPP-COP 20. Lima, 23 de mayo de 2014. Recuperado de:

<https://centroderecursos.cultura.pe/sites/default/files/rb/pdf/Amazonia%20y%20cambio%20climatico%20Perspectivas%2C%20oportunidades%20y%20amenazas.pdf>

Castaño, N. (2009). La Amazonia frente al cambio climático. *Revista Colombia Amazónica*, 1(2), 65-78.
<https://sinchi.org.co/files/publicaciones/revista/pdf/2/3%20la%20amazonia%20frente%20al%20cambio%20climtico.pdf>

Castro, L. (2016). Perturbación ambiental analizada por medio de bioindicadores en un fragmento de bosque seco tropical (Bs-T) localizado en el área perimetral del aeropuerto Jorge Isaacs (Albania, La Guajira, Colombia). Universidad de Manizales. Manizales, Colombia.
<http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/6789/2911/Trabajo%20de%20Grado-%20Perturbaci%C3%B3n%20ambiental%20analizada%20por%20bioindicadores%20en%20Bs-T.pdf?sequence=1>

Caudillo, C. & Coronel, C. (2010). Diplomado en análisis de información geoespacial. Densidad de Kernel. Centro de Investigación en Geografía y Geomática "Ing. Jorge L. Tamayo". CONACYT. Ciudad de México.
<https://centrogeo.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1012/168/1/24-Densidad%20de%20Kernel%20-%20%20Diplomado%20en%20An%C3%A1lisis%20de%20Informaci%C3%B3n%20Geoespacial.pdf>

CEPAL y patrimonio natural. (2013). Amazonia posible y sostenible. Bogotá: Cepal y Patrimonio Natural.
https://www.cepal.org/sites/default/files/news/files/amazonia_posible_y_sostenible.pdf

Compagnucci, R. (2011). Historia del cambio climático o calentamiento global. Sociedad Argentina de Estudios Geográficos. Contribuciones Científicas GÆA, 23, 13-19.
https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/15942/CONICET_Digital_Nro.19643.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Cotrina Sánchez, D. A., Barboza Castillo, E., Rojas Briceño, N. B., Oliva, M., Torres Guzman, C., Amasifuen Guerra, C. A., & Bandopadhyay, S. (2020). Distribution models of timber species for forest conservation and restoration in the Andean-Amazonian landscape, North of Peru. *Sustainability*, 12(19), 7945.
<https://doi.org/10.3390/su12197945>

Curatola, G. (2009). Patrones de distribución espacial de *Triplaris americana* en Tambopata, Perú. Tesis de pregrado. Pontificia Universidad Católica del Perú –

PUCP.

http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/454/CURATOLA_FERNANDEZ_GIULIA_PATRONES_DISTRIBUCION.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Decreto Supremo N°017-2009-AG. Diario El Peruano. Normas legales. Lima, Perú. 2 de setiembre de 2009. [https://www.serfor.gob.pe/pdf/normatividad/2009/decreto/DS%20N%C3%82%C2%BA%20017-2009-AG\(Reglamento%20de%20Clasif%20de%20Tierras\).pdf](https://www.serfor.gob.pe/pdf/normatividad/2009/decreto/DS%20N%C3%82%C2%BA%20017-2009-AG(Reglamento%20de%20Clasif%20de%20Tierras).pdf)

Decreto Supremo N°043-2006-MINAG. Diario El Peruano. Normas legales. Lima, Perú. 13 de julio de 2006. <https://www.serfor.gob.pe/wp-content/uploads/2016/03/D.S.-N-043-2006-AG-Aprueban-Categorizacin-de-Especies-Amenazadas-de-Flora-Silvestre.pdf>

Díaz, R. & Miranda, J. (2012). Áreas Naturales Protegidas en el Perú: Efectos sobre la Deforestación y su relación con el Bienestar de la Población Amazónica. Informe final. Instituto de Estudios Peruanos (IEP). <https://centroderecursos.cultura.pe/sites/default/files/rb/pdf/areas%20Naturales%20Protegidas%20en%20el%20Peru.pdf>

Dourojeanni, M. (2018). [Opinión] ¿Producción de cacao y café en áreas naturales protegidas? Sociedad Peruana de Derecho Ambiental (SPDA). http://www.actualidadambiental.pe/?p=52543#_ftn4

Elith, J., Phillips, S. J., Hastie, T., Dudík, M., Chee, Y. E., & Yates, C. J. (2011). A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and distributions*, 17(1), 43-57. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2010.00725.x>

Fagan, C. & Shoobridge, D. (2005). Una Investigación de la Extracción Ilegal de Madera en el Parque Nacional Alto Purús y Alrededores. ParkSwatch. http://www.parkswatch.org/spec_reports/logging_apnp_spa.pdf

Fick, S.E. & Hijmans, R.J. (2017). WorldClim 2: new 1km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 37(12), 4302-4315. <https://doi.org/10.1002/joc.5086>

FAO. (2016a). El estado de los bosques del mundo. Los bosques y la agricultura: desafíos y oportunidades en relación con el uso de la tierra. Roma. <http://www.fao.org/3/a-i5588s.pdf>

FAO. (2016b). Bosques y cambio climático. Documento de trabajo 14. Los bosques y el cambio climático en el Perú. Roma. <http://www.fao.org/3/a-i5184s.pdf>

Fundación M.J. Bustamante de la Fuente. (2010). Cambio climático en el Perú. Amazonía. Lima, Perú. <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/cambio-climatico-peru-amazonia>

Fundación Naturaleza para la Vida. (2010). Inventario Nacional de caoba, cedro y rosul como una herramienta para fortalecer el manejo sustentable y la comercialización de estas especies. Informe Final del Proyecto CITES N° S-340, Fase I. Guatemala. <https://cites.org/sites/default/files/common/com/pc/19/S19i-05.pdf>

García-Calderón, L. & Centeno, M. (2013). Las áreas naturales protegidas y el tráfico de madera. "Perú Hoy. El Perú subterráneo". Desco. 271-292. Recuperado de: http://www.desco.org.pe/recursos/site/files/CONTENIDO/24/13_Garc%C3%ADa_Centeno_El_Per%C3%BA_subterr%C3%A1neo_PH_dic_2013.pdf

García, R. (2016). ¿Qué es el IPCC?. *Tiempo de Paz*, (120), 9-15.

GBIF.org (14 abril 2022) GBIF Occurrence Download <https://doi.org/10.15468/dl.cvf38m>

Global Green Growth Institute, Deutsches Institut für Entwicklungspolitik, German Development Institute & Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR) (2015). Interpretación de la dinámica de la deforestación en el Perú y lecciones aprendidas para reducirla. <https://www.serfor.gob.pe/wp-content/uploads/2016/03/Interpretacion-de-la-dinamica-de-la-deforestacion-en-el-Peru-y-lecciones-aprendidas-para-reducirla-1.pdf>

Gómez, A., Anaya, J. & Álvarez, E. (2005). Análisis de fragmentación de los ecosistemas boscosos en una región de la cordillera central de los andes colombianos. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 4(7), 13-27. <https://www.redalyc.org/pdf/750/75004702.pdf>

Granados, C., Serrano Giné, D., & García-Romero, A. (2014). Efecto de borde en la composición y en la estructura de los bosques templados. Sierra de Monte-Alto, Centro de México. *Caldasia*, 36(2), 269-287. <http://www.scielo.org.co/pdf/cal/v36n2/v36n2a7.pdf>

Gutiérrez, E., & Trejo, I. (2014). Efecto del cambio climático en la distribución potencial de cinco especies arbóreas de bosque templado en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85(1), 179–188. <https://doi.org/10.7550/rmb.37737>

Hilker, T., Lyapustin, A. I., Tucker, C. J., Hall, F. G., Myneni, R. B., Wang, Y. *et al.* (2014). Vegetation dynamics and rainfall sensitivity of the Amazon. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(45), 16041-16046. <https://doi.org/10.1073/pnas.1404870111>

- Hijmans, R. J., Cameron, S. E., Parra, J. L., Jones, P. G. & Jarvis, A. (2005) Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 25(15), 1965-1978. <http://doi.org/10.1002/joc.1276>
- INEI. (2018a). Pasco, resultados definitivos. Tomo I. https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1572/
- INEI. (2018b). Pasco, resultados definitivos, Población Económicamente Activa. Tomo I. https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1625/
- INEI. (2021). Perú: anuario de estadísticas ambientales 2021. Lima, Perú. https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1827/libro.pdf
- Infobosques (s/f). VIII.1 Impactos en la tala ilegal en el Perú. <http://www.infobosques.com/descargas/biblioteca/374.pdf>
- Infobosques (2009). Amazonía peruana. Amazonía 2009: Áreas protegidas y territorios indígenas. http://infobosques.com/portal/wp-content/uploads/2016/12/Amazonia_Peruana.pdf
- Ipenza, C. (19 de enero de 2010). ¿Construyendo para destruir?: el caso del Bosque de Protección San Matías – San Carlos. *Actualidad Ambiental*. Sociedad Peruana de Derecho Ambiental – SPDA. Artículo recuperado de: <https://www.actualidadambiental.pe/%C2%BFconstruyendo-para-destruir-el-caso-del-bosque-de-proteccion-san-matias-san-carlos/>
- IPCC. (s/f). AR6 Synthesis Report: Climate Change 2022. Fecha de consulta: 29 de junio de 2022. <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle/>
- IPCC. (2014). Cambio climático 2014. Informe de síntesis. *Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri, RK y Meyer, L.(directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza.*
- Kalliola, R., Puhakka, M. & Danjoy, W. (1993). Amazonía Peruana: Vegetación húmeda tropical en el llano subandino. Lima: Proyecto Amazonía de la Universidad de Turku-Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales. Finlandia.
- Karger, D. N., Conrad, O., Böhrner, J. *et al.* (2017). Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas. *Scientific data*, 4(1), 1-20. <https://doi.org/10.1038/sdata.2017.122>

Karger, D.N., Conrad, O., Böhner, J., Kawohl, T., Kreft, H., Soria-Auza, R.W., Zimmermann, N.E., Linder, H.P. & Kessler, M. (2021) Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas. *EnviDat*. <https://doi.org/10.16904/envidat.228.v2.1>

Koyoc-Ramírez, L. G., Mendoza-Vega, J., Pérez Jiménez, J. C., & Torrescano Valle, N. (2015). Efectos de la perturbación antrópica en petenes de selva en Campeche, México. *Acta botánica mexicana*, (110), 89-103. <http://www.scielo.org.mx/pdf/abm/n110/n110a4.pdf>

Lamont, B., & Connell, S. W. (1996). Biogeography of *Banksia* in southwestern Australia. *Journal of Biogeography*, 23(3), 295-309. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2699.1996.00027.x>

Laurente, M. (2015). Modelación de los efectos del cambio climático en la distribución de *Cedrela odorata* L. "cedro" en la amazonia peruana. *The Biologist (Lima)*, 13(2), 213-224. <https://revistas.unfv.edu.pe/rtb/article/view/174/163>

Ley de Áreas Naturales Protegidas N°26834. (1997). Congreso de la República. Diario El Peruano: Normas Legales. Año XV. N°6215, pág. 150721. <http://www.leyes.congreso.gob.pe/Documentos/Leyes/26834.pdf>

Manson, R., Jardel, E., Jiménez, M. & Escalante, C. (2009). Perturbaciones y desastres naturales: impactos sobre las ecorregiones, la biodiversidad y el bienestar socioeconómico. *Capital natural de México*, 2, 131-184. https://www.biodiversidad.gob.mx/pais/pdf/CapNatMex/Vol%20II/II03_Perturbaciones%20y%20desastres%20naturales_Impactos%20sobre.pdf

Manzanilla, U., Aguirre, Ó.A., Jiménez, J., Treviño, E.J., & Yerena, J.I. (2018). Escenarios de cambio climático (CMIP-5) para tres áreas naturales protegidas en el Eje Neovolcánico Transversal. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 9(50), 514-537. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i50.255>

Martínez, T., Angulo, C. & Olvera, G. (2007). Pérdida de la cobertura forestal en el ANP Lagunas de Zempoala. Centro de Estudios Geográficos de Análisis Territorial y Ambiental. Ciudad de Toluca, México. http://itgeo.com.mx/ceg/wp-content/uploads/2015/05/ZEMPOALA_WEB.pdf

McGarigal, K. & Cushman, S.A. (2002), Comparative evaluation of experimental approaches to the study of habitat fragmentation effects. *Ecological Applications*, 12(2), 335-345. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2002\)012\[0335:CEOEAT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2002)012[0335:CEOEAT]2.0.CO;2)

Ministerio del Ambiente del Perú. (s/f). Protocolo metodológico para detección de la pérdida de bosque. Programa Nacional de Conservación de Bosques para la Mitigación del Cambio Climático – PNCBMCC. Lima, Perú. 29 pp. Recuperado

de:

[https://geobosques.minam.gob.pe/geobosque/descargas_geobosque/perdida/documentos/Protocolo Metodologico Deteccion Perdida de Bosque.pdf?Thu%20Jan%202012%202023%2022:06:46%20GMT-0500%20\(hora%20est%C3%A1ndar%20de%20Per%C3%BA\)](https://geobosques.minam.gob.pe/geobosque/descargas_geobosque/perdida/documentos/Protocolo%20Metodologico%20Deteccion%20Perdida%20de%20Bosque.pdf?Thu%20Jan%202012%202023%2022:06:46%20GMT-0500%20(hora%20est%C3%A1ndar%20de%20Per%C3%BA))

Ministerio del Ambiente del Perú. (2010). Cuarto informe nacional sobre la aplicación del convenio de diversidad biológica años 2006-2009. Capítulos I, II, III, IV Apéndices, y Anexo Áreas Protegidas. Dirección General de Diversidad Biológica. http://www.minam.gob.pe/diversidadbiologica/wp-content/uploads/sites/21/2013/10/Cuarto-Informe_Convenio-de-Diversidad-Biologica.pdf

Ministerio del Ambiente del Perú. (2012a). Inventario y evaluación del patrimonio natural en los ecosistemas de selva alta: Parque Nacional Yanachaga Chemillén. Dirección General de Evaluación, Valoración y Financiamiento del Patrimonio Natural. Lima, Perú. <http://www.minam.gob.pe/patrimonio-natural/wp-content/uploads/sites/6/2013/10/Inventario-de-Ecosistemas-de-Selva-Alta-Yanachaga.pdf>

Ministerio del Ambiente del Perú. (2012b). Catálogo de flora: especies CITES peruanas. Autoridad científica CITES – Perú. Dirección General de Diversidad Biológica. <http://www.minam.gob.pe/diversidadbiologica/wp-content/uploads/sites/21/2014/02/Cat%C3%A1logo-de-Flora.-Especies-CITES-Peruanas-1.pdf>

Ministerio del Ambiente del Perú. (2015). Mapa nacional de cobertura vegetal: memoria descriptiva. Dirección General de Evaluación, Valoración y Financiamiento del Patrimonio Natural. <http://www.minam.gob.pe/patrimonio-natural/wp-content/uploads/sites/6/2013/10/MAPA-NACIONAL-DE-COBERTURA-VEGETAL-FINAL.compressed.pdf>

Ministerio del Ambiente del Perú. (2016). Monitoreo anual: guía de uso y análisis de la información georreferenciada de bosques. Submódulo 1. Geobosques. [http://geobosques.minam.gob.pe/geobosque/descargas_geobosque/perdida/documentos/GUIA DE USO Y ANALISIS DE LA INFORMACION GEORREFERENCIADA DE BOSQUES.pdf](http://geobosques.minam.gob.pe/geobosque/descargas_geobosque/perdida/documentos/GUIA%20DE%20USO%20Y%20ANALISIS%20DE%20LA%20INFORMACION%20GEORREFERENCIADA%20DE%20BOSQUES.pdf)

Ministerio del Ambiente del Perú. (2022a). Cobertura y pérdida de bosque húmedo amazónico 2021. Programa Nacional de Conservación de Bosques para la Mitigación del Cambio Climático (PNCBMCC). Recuperado de: [https://geobosques.minam.gob.pe/geobosque/descargas_geobosque/perdida/documentos/Reporte Cobertura y Perdida de Bosque Humedo Amazonico 2021.pdf?Fri%20May%202019%202023%2022:17:58%20GMT-0500%20\(hora%20est%C3%A1ndar%20de%20Per%C3%BA\)](https://geobosques.minam.gob.pe/geobosque/descargas_geobosque/perdida/documentos/Reporte%20Cobertura%20y%20Perdida%20de%20Bosque%20Humedo%20Amazonico%2021.pdf?Fri%20May%202019%202023%2022:17:58%20GMT-0500%20(hora%20est%C3%A1ndar%20de%20Per%C3%BA))

Ministerio del Ambiente del Perú. (2022b). Sistema de Áreas Naturales Protegidas del Perú. Recuperado de: <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2622831/Listado%20ANP%2030.11.2022.pdf.pdf?v=1669821664>

Ministerio de Cultura (2019). GEOCATMIN - Capas externas. Pueblos indígenas u originarios. Recuperado de: <http://catalogo.geoidep.gob.pe:8080/metadata/srv/api/records/e1196ba8-150b-4197-bb6e-115915e59c7e>

Mishari, D. (2022). *Solicitud de información para TESIS de PREGRADO*. [Correo electrónico]

Mongabay. (4 de octubre de 2016). Selva central: Otro foco de deforestación en áreas naturales protegidas peruanas. Recuperado de: <https://es.mongabay.com/2016/10/selva-central-foco-deforestacion-areas-naturales-protgidas-peruanas/>

Monteagudo, A. (2022). *Solicitud de información para TESIS de PREGRADO*. [Correo electrónico]

Municipalidad Provincial de Oxapampa. (2010). Plan de Desarrollo Concertado de la Provincia de Oxapampa 2009-2021. http://www.peru.gob.pe/docs/PLANES/12163/PLAN_12163_Plan%20Desarrollo%20Concertado%20de%20la%20Provincia%20de%20Oxapampa%20-Parte%201_2013.pdf

Municipalidad Provincial de Oxapampa. (2011). Plan de acción de la Reserva de Biosfera Oxapampa Asháninka Yánesha 2015 – 2021. Comité de Coordinación de la RBOAY. <http://www.munioxapampa.com/doc/doc1.pdf>

ONU. (s/f). ¿Qué es el cambio climático? Fecha de consulta: 29 de junio de 2022. Recuperado de: <https://www.un.org/es/climatechange/what-is-climate-change>

ONU. (1992). Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>

Pérez, O. (2011). Estudio de Mercado de *Cedrela odorata* en Bolivia, Brasil y Perú. Organización Internacional de Maderas Tropicales (OIMT). http://www.itto.int/files/user/cites/peru/4.%20Estudio%20mercado%20C.%20odorata%20BoBraPe_byOscar_Perez.pdf

Phillips, S. J. (2017). A brief tutorial on Maxent. *AT&T Research*, 190(4), 231-259. Disponible en: http://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/ Fecha de consulta: 06 de enero de 2023.

- Phillips, S.J., Anderson, R.P. & Schapired, R.E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* 190(3-4), 231-259. <http://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>
- Pulgar, J. (2014). Las ocho regiones naturales del Perú. Terra Brasilis (Nova Série). Revista da Rede Brasileira de História da Geografia e Geografia Histórica, (3). <https://doi.org/10.4000/terrabrasilis.1027>
- Puyravaud, J. (2003). Standardizing the calculation of the annual rate of deforestation. *Forest Ecology and Management*, 177(1-3), 593 – 596. [https://doi.org/10.1016/s0378-1127\(02\)00335-3](https://doi.org/10.1016/s0378-1127(02)00335-3)
- Resolución Jefatural N°076-2008-INRENA. (2008). Normas Legales. Diario El Peruano. Lima, Perú. 23 de marzo del 2008. <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/per78854.pdf>
- Rivera-García, P. (1998). Marco teórico, elemento fundamental en el proceso de investigación científica. Universidad Nacional Autónoma de México – UNAM. Facultad de estudios superiores Zaragoza, México Distrito Federal, México. <http://bivir.uacj.mx/Reserva/Documentos/rva200334.pdf>
- Rodriguez, F. (1995). El recurso del suelo en la Amazonia peruana, diagnóstico para su investigación (segunda aproximación). Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana – IIAP. Documento técnico N°14. Iquitos, Perú. <http://www.infobosques.com/descargas/biblioteca/364.pdf>
- Sánchez-Cordero, V., Townsend, A. & Escalante-Pliego, P. (2001). El modelado de la distribución de especies y la conservación de la diversidad biológica. *Enfoques contemporáneos para el estudio de la biodiversidad*. En: Héctor M. Hernández, Alfonso N. García Aldrete, Fernando Álvarez y Miguel Ulloa (compiladores). 2001. Enfoques contemporáneos para el estudio de la biodiversidad. Ediciones Científicas Universitarias. Serie Texto Científico Universitario. Instituto de Biología, UNAM y Fondo de Cultura Económica. México, D.F., pp 359-379. https://www.researchgate.net/profile/Victor-Sanchez-Cordero/publication/230709853_El_modelado_de_la_distribucion_de_especies_y_la_conservacion_de_la_diversidad_biologica/links/594c6096458515e70348afa3/El-modelado-de-la-distribucion-de-especies-y-la-conservacion-de-la-diversidad-biologica.pdf
- Scheldeman, X., & Zonneveld, M. V. (2011). Manual de capacitación en análisis espacial de diversidad y distribución de plantas. Bioersity International, Roma, Italia. 186 pp.
- SERFOR. (2020). Estado situacional del género *Cedrela* en Perú. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1789801/Estado%20situacional%20del%20g%C3%A9nero%20cedrela%20en%20el%20Per%C3%BA.pdf.pdf>

SERNANP. (2015). Plan Maestro del Bosque de Protección San Matías San Carlos 2015–2019.

[http://old.sernanp.gob.pe/sernanp/archivos/baselegal/Resoluciones_Presidenciales/2015/RP%20N%20268-2015-SERNANP%20\(2\).pdf](http://old.sernanp.gob.pe/sernanp/archivos/baselegal/Resoluciones_Presidenciales/2015/RP%20N%20268-2015-SERNANP%20(2).pdf)

SERNANP (2020a). Diagnóstico de vigilancia y control del BPSMSC. Consultado el 10 de febrero de 2022: <https://sis.sernanp.gob.pe/biblioteca/?publicacion=2269>

SERNANP (2020b). Plan de Vigilancia y Control del Bosque de Protección San Matías San Carlos. Consultado el 15 de febrero de 2022: <https://sis.sernanp.gob.pe/biblioteca/?publicacion=2427>

Smith, J. & Schwartz, J. (2015). La deforestación en el Perú: Cómo las comunidades indígenas, agencias gubernamentales, organizaciones sin fines de lucro y negocios trabajan juntos para detener la tala de los bosques. WWF Perú. https://d2ouvy59p0dg6k.cloudfront.net/downloads/la_deforestacion_en_el_peru.pdf

Soares-Filho, B., Nepstad, D., Curran, L., Coutinho, G., Garcia, R., Azevedo, C., Voll, E., McDonald, A., Lefebvre, P. & Schlesinger, P. (2006). Modelling conservation in the Amazon basin. *Nature*, 440(7083), 520–523. <https://doi.org/10.1038/nature04389>

Taylor, K. E., Stouffer, R. J., & Meehl, G. A. (2012). An overview of CMIP5 and the experiment design. *Bulletin of the American meteorological Society*, 93(4), 485–498. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00094.1>

Tantachuco, A. (2022). *Solicitud de información para TESIS de PREGRADO*. [Correo electrónico]

Timaná, M. & Cuentas, M. (2016). Modelamiento de distribución de especies con MaxEnt: Una guía práctica. Material del curso Biogeografía y Manejo Ambiental. Versión 3. Pontificia Universidad Católica del Perú.

Tovar, A., Tovar, C., Saito, J., Soto, A., Regal, F., Cruz, Z. *et al.* (2010). Yungas Peruanas – Bosques montanos de la vertiente oriental de los Andes del Perú: Una perspectiva ecorregional de conservación. <http://infobosques.com/portal/wp-content/uploads/2016/08/Yungas-peruanas-Bosques-montanos-de-la-vertiente-oriental-de-los-Andes-del-Per%C3%BA.pdf>

UNODC & Ministerio del Ambiente (MINAM) (2011). Análisis económico de las actividades causantes de la deforestación en Pichis-Palcazú. https://www.unodc.org/documents/peruandecuador/Informes/analisis_economico_pichis_palcazu1.pdf

UNESCO (2010). Red Mundial de Reservas de Biosfera: Lugares de Desarrollo Sostenible 2010. <http://unesdoc.unesco.org/images/0020/002070/207051s.pdf>

UNALM (1995). Las Áreas Naturales Protegidas del Perú, reporte N°1: El Sistema de Áreas Naturales Protegidas por el Estado - SINANPE. Centros de Datos para la Conservación (CDC-UNALM). <http://191.98.188.189/Fulltext/9532.pdf>

UNALM & TNC. (2006). Planificación para la Conservación Ecoregional de las Yungas Peruanas: Conservando la Diversidad Natural de la Selva Alta del Perú. Informe Final. Lima, Perú. 207 pp. <https://www.conservationgateway.org/ConservationPlanning/SettingPriorities/EcoregionalReports/Documents/PLANIFICACIaN%20PARA%20LA%20CONSERVACIaN%20ECOREGIONAL%20DE%20LAS%20YUNGAS.pdf>

Urrunaga, J., Johnson, A., Orbegozo, I. & Mulligan, F. (2012). La máquina lavadora: cómo el fraude y la corrupción en el sistema de concesiones están destruyendo el futuro de los bosques de Perú. Environmental Investigation Agency – EIA. https://laundryingmachine.files.wordpress.com/2012/04/spanish_report_eia_final2.pdf

Valverde, T., Meave, J., Carabias, J. & Cano-Santana, Z. (2005). Ecología y Medio Ambiente. Pearson Educación, México.

Van Proosdij, A. S., Sosef, M. S., Wieringa, J. J., & Raes, N. (2016). Minimum required number of specimen records to develop accurate species distribution models. *Ecography*, 39(6), 542-552. <https://doi.org/10.1111/ecog.01509>

Varese, S. (2006). La Sal de los Cerros: Resistencia y utopía en la Amazonía peruana. Fondo Editorial del Congreso Del Perú. Lima.

Vergara, K., Figallo, M. & Glave, M. (2014b). Infraestructura en la Amazonía Peruana: Una propuesta para proyectar cambios en la cobertura boscosa en la carretera Pucallpa-Cruzeiro do sul. En: Amazonía peruana y desarrollo económico. IEP/GRADE. Lima, Perú. <http://repositorio.iep.org.pe/bitstream/IEP/601/2/estudiosobredesigualdad8.pdf>

Veyrunes, E. (2008). Las amenazas percibidas para la Amazonía: un estado del arte en términos de seguridad ambiental. Facultades de Ciencia Política y Gobierno y de Relaciones Internacionales. Centro de Estudios Políticos e Internacionales (CEPI). Bogotá, Colombia. http://www.urosario.edu.co/urosario_files/6f/6f1369dd-1e59-4258-84ad-18e906e3b46e.pdf

ANEXOS

ANEXO 1. PUNTOS DE OCURRENCIA DE CEDRO (*CEDRELA ODORATA L.*) EN LAS REGIONES DE HUÁNUCO, PASCO Y JUNÍN

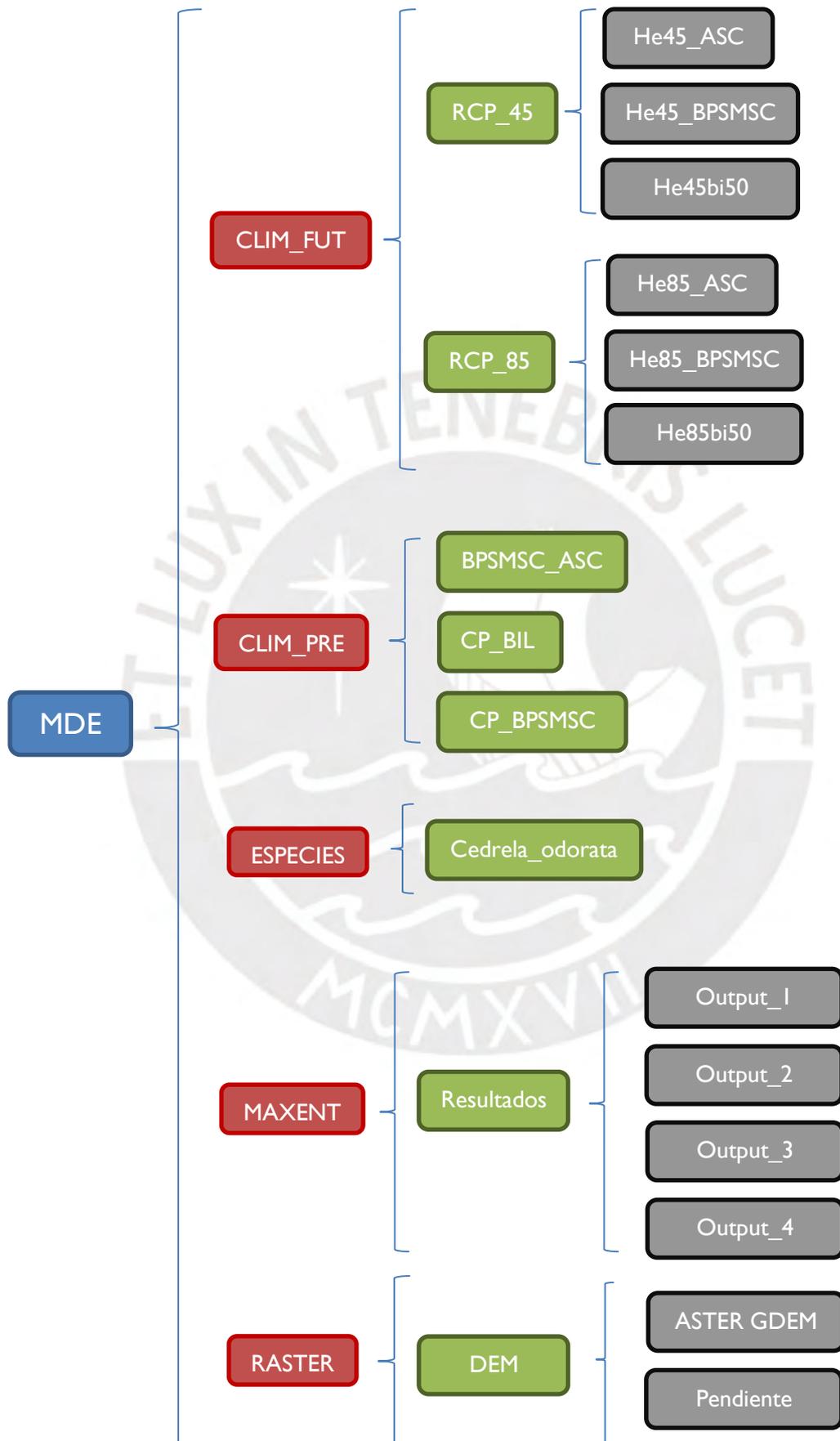
Especie	Longitud	Latitud
<i>Cedrela odorata L.</i>	-74.7965	-11.4663
<i>Cedrela odorata L.</i>	-75.3545	-11.1032
<i>Cedrela odorata L.</i>	-75.3549	-11.1023
<i>Cedrela odorata L.</i>	-75.2348	-11.0698
<i>Cedrela odorata L.</i>	-74.9567	-10.8111
<i>Cedrela odorata L.</i>	-75.2177	-10.6901
<i>Cedrela odorata L.</i>	-75.2168	-10.6968
<i>Cedrela odorata L.</i>	-75.2109	-10.6988
<i>Cedrela odorata L.</i>	-75.2121	-10.6977
<i>Cedrela odorata L.</i>	-75.3893	-10.6043
<i>Cedrela odorata L.</i>	-75.3839	-10.601
<i>Cedrela odorata L.</i>	-75.3856	-10.6076
<i>Cedrela odorata L.</i>	-75.3804	-10.6099
<i>Cedrela odorata L.</i>	-75.3873	-10.602
<i>Cedrela odorata L.</i>	-75.3897	-10.6044
<i>Cedrela odorata L.</i>	-75.3807	-10.6001
<i>Cedrela odorata L.</i>	-75.3835	-10.6035
<i>Cedrela odorata L.</i>	-75.3852	-10.6025
<i>Cedrela odorata L.</i>	-75.381	-10.6001
<i>Cedrela odorata L.</i>	-75.3811	-10.6078
<i>Cedrela odorata L.</i>	-75.3886	-10.6068
<i>Cedrela odorata L.</i>	-75.389	-10.6
<i>Cedrela odorata L.</i>	-75.3874	-10.6059
<i>Cedrela odorata L.</i>	-75.3811	-10.6028
<i>Cedrela odorata L.</i>	-75.4761	-10.5896
<i>Cedrela odorata L.</i>	-75.4707	-10.5855
<i>Cedrela odorata L.</i>	-75.4771	-10.5849
<i>Cedrela odorata L.</i>	-75.4727	-10.5873
<i>Cedrela odorata L.</i>	-75.4799	-10.58
<i>Cedrela odorata L.</i>	-75.4737	-10.5866
<i>Cedrela odorata L.</i>	-75.4734	-10.5815
<i>Cedrela odorata L.</i>	-75.4765	-10.5865
<i>Cedrela odorata L.</i>	-75.4	-10.5667
<i>Cedrela odorata L.</i>	-75.4079	-10.5667
<i>Cedrela odorata L.</i>	-75.4017	-10.5667

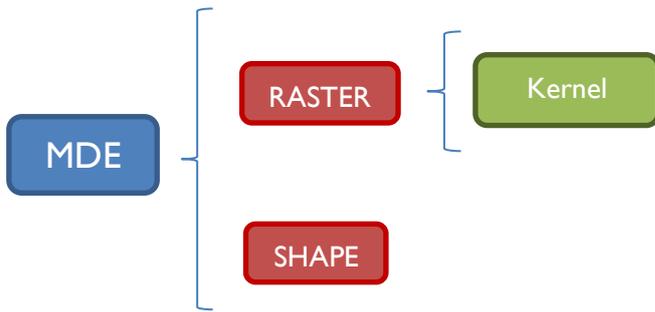
<i>Cedrela odorata</i> L.	-75.4086	-10.5667
<i>Cedrela odorata</i> L.	-75.4399	-10.531
<i>Cedrela odorata</i> L.	-75.4377	-10.5354
<i>Cedrela odorata</i> L.	-75.0749	-10.3892
<i>Cedrela odorata</i> L.	-75.0713	-10.3822
<i>Cedrela odorata</i> L.	-75.0763	-10.387
<i>Cedrela odorata</i> L.	-75.1493	-10.3257
<i>Cedrela odorata</i> L.	-75.3685	-10.2042
<i>Cedrela odorata</i> L.	-75.3614	-10.2066
<i>Cedrela odorata</i> L.	-75.3628	-10.2074
<i>Cedrela odorata</i> L.	-75.3651	-10.2097
<i>Cedrela odorata</i> L.	-75.3605	-10.201
<i>Cedrela odorata</i> L.	-75.5881	-10.2034
<i>Cedrela odorata</i> L.	-75.5802	-10.2039
<i>Cedrela odorata</i> L.	-75.5871	-10.2044
<i>Cedrela odorata</i> L.	-75.5835	-10.2052
<i>Cedrela odorata</i> L.	-75.5849	-10.2038
<i>Cedrela odorata</i> L.	-75.5888	-10.2003
<i>Cedrela odorata</i> L.	-75.5809	-10.2068
<i>Cedrela odorata</i> L.	-75.583	-10.2
<i>Cedrela odorata</i> L.	-75.5701	-10.1864
<i>Cedrela odorata</i> L.	-75.5779	-10.1863
<i>Cedrela odorata</i> L.	-75.3	-10.1784
<i>Cedrela odorata</i> L.	-75.3057	-10.1703
<i>Cedrela odorata</i> L.	-75.3095	-10.1766
<i>Cedrela odorata</i> L.	-75.3004	-10.1718
<i>Cedrela odorata</i> L.	-75.305	-10.1779
<i>Cedrela odorata</i> L.	-75.3033	-10.1711
<i>Cedrela odorata</i> L.	-75.3007	-10.1707
<i>Cedrela odorata</i> L.	-75.3301	-10.1542
<i>Cedrela odorata</i> L.	-75.3329	-10.1579
<i>Cedrela odorata</i> L.	-75.331	-10.159
<i>Cedrela odorata</i> L.	-75.3311	-10.1586
<i>Cedrela odorata</i> L.	-75.3368	-10.1576
<i>Cedrela odorata</i> L.	-75.3336	-10.1574
<i>Cedrela odorata</i> L.	-75.336	-10.157
<i>Cedrela odorata</i> L.	-75.3316	-10.1516
<i>Cedrela odorata</i> L.	-75.3377	-10.1503
<i>Cedrela odorata</i> L.	-75.3796	-10.1336
<i>Cedrela odorata</i> L.	-75.3722	-10.1394
<i>Cedrela odorata</i> L.	-75.3767	-10.1383

<i>Cedrela odorata</i> L.	-75.3799	-10.1399
<i>Cedrela odorata</i> L.	-75.3735	-10.1353
<i>Cedrela odorata</i> L.	-75.3717	-10.1379
<i>Cedrela odorata</i> L.	-75.3707	-10.1332
<i>Cedrela odorata</i> L.	-75.3747	-10.1365
<i>Cedrela odorata</i> L.	-75.378	-10.132
<i>Cedrela odorata</i> L.	-75.37	-10.13
<i>Cedrela odorata</i> L.	-75.3711	-10.1354
<i>Cedrela odorata</i> L.	-75.3778	-10.1343
<i>Cedrela odorata</i> L.	-75.375	-10.137
<i>Cedrela odorata</i> L.	-75.3741	-10.1387
<i>Cedrela odorata</i> L.	-75.3733	-10.1371
<i>Cedrela odorata</i> L.	-75.55	-10.1
<i>Cedrela odorata</i> L.	-75.5523	-10.1066
<i>Cedrela odorata</i> L.	-75.5567	-10.0724
<i>Cedrela odorata</i> L.	-75.5598	-10.0736
<i>Cedrela odorata</i> L.	-75.5514	-10.0742
<i>Cedrela odorata</i> L.	-75.5576	-10.0727
<i>Cedrela odorata</i> L.	-75.03	-9.67
<i>Cedrela odorata</i> L.	-75.0371	-9.6764
<i>Cedrela odorata</i> L.	-75.0539	-9.6795
<i>Cedrela odorata</i> L.	-75.8333	-9.5076
<i>Cedrela odorata</i> L.	-75.8333	-9.5094

Fuente: GBIF, Trópicos, Kew Royal Botanic Gardens, Chicago Field Museum

ANEXO 2. SISTEMA DE CARPETAS DE TRABAJO





Fuente: Adaptado de Timaná, M. et al. (2016)



ANEXO 3. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO DETALLADO

1. Preparación de las variables bioclimáticas del periodo 1981 – 2010

- a. Se añadieron las capas de las regiones Huánuco, Pasco y Junín, las cuales servirán como referencia para abarcar en su totalidad el Área Natural Protegida y su Zona de Amortiguamiento.
- b. Se realizó un buffer de 20 kilómetros a la capa de las regiones Huánuco, Pasco y Junín, con el objetivo de no dejar sin considerar ningún área dentro de la zona de estudio al realizar los modelamientos.
- c. Se añadió las 19 variables y se realizó el recorte de las capas según el área de interés para el modelamiento, mediante la herramienta “Extract By Mask”. Se empleó el archivo shapefile del buffer de las regiones Huánuco, Pasco y Junín como entidad de recorte.
- d. Se convirtió las capas resultantes de formato TIFF a ASC mediante la herramienta “Raster To ASCII”.
- e. Las capas obtenidas están listas para ser empleadas como insumo para el modelamiento.

2. Preparación de la variable topográfica de elevación

- a. Se añadió un mosaico de 21 capas ráster de elevación correspondientes al área geográfica que abarcan las regiones de interés.
- b. Se integraron a un solo ráster mediante la herramienta “Mosaic To New Raster”.
- c. Se recortó mediante la herramienta “Extract By Mask”, seleccionando el archivo shapefile del buffer de las regiones como

entidad de recorte. Se obtuvo como resultado la capa de elevación que se empleará como insumo en los modelamientos.

3. Obtención y preparación de predictores ambientales futuros para el periodo 2041 – 2060

- a. Se descargaron las 19 variables bioclimáticas para cada escenario (RCP 4.5 y RCP 8.5) del portal web Chelsa (chelsa-climate.org).
- b. Se seleccionó la opción CMIP5, la cual posee una gran cantidad de modelos disponibles de diferentes instituciones. Para la presente investigación se seleccionó trabajar con el modelo elaborado por el Met Office Hadley Centre for Climate Science and Services del Reino Unido (HadGem2-CC).
- c. Se añadieron las 19 variables bioclimáticas y se realizó el recorte según el área de interés para el modelamiento, mediante la herramienta “Extract By Mask”. Se empleó el archivo shapefile del buffer de las regiones Huánuco, Pasco y Junín como entidad de recorte.
- d. Se convirtió las capas resultantes de formato TIFF a ASC mediante la herramienta “Raster To ASCII”. De igual manera se realizó con las capas ya recortadas de elevación y de pendiente.
- e. Las capas obtenidas están listas para ser empleadas como insumo para el modelamiento futuro.

4. Modelamientos con Maxent 3.4.4.

- a. Modelamiento de distribución espacial potencial del cedro en la actualidad
 - i. Se abrió el programa ejecutando el archivo Maxent.JAR

- 
- ii. En la sección "Samples", ubicada en la esquina superior izquierda, se seleccionó el archivo CSV, referente a los datos de ocurrencia de la especie.
 - iii. En la sección "Environmental layers", ubicada en la esquina superior derecha, se seleccionó la carpeta (CLIM_PRE > BPSMSC_ASC) en donde se encuentran las capas de los predictores ambientales para la actualidad.
 - iv. Una vez enlistadas las variables de los predictores ambientales, al tratarse de variables continuas se aseguró que la opción "Continuous" esté seleccionada para todas.
 - v. En la sección "Output directory", ubicada en la esquina inferior derecha, se selecciona la carpeta en donde se almacenarán los archivos resultantes de la corrida (MAXENT > Resultados > OUTPUT_1)
 - vi. De igual manera, se aseguró en marcar la opción "Do jackknife to measure variable importance". Esta función genera datos estadísticos para conocer qué variables aportan un mayor peso al comportamiento del modelamiento para la especie de interés.
 - vii. Finalmente, en la ventana de "Settings" se aseguró que la opción "Replicate run type" estuviese marcada como "Crossvalidate" y que "Remove duplicate presence records" esté activa. Esta última excluirá del modelamiento cualquier punto de ocurrencia duplicado; es decir, que posea las mismas coordenadas geográficas que algún otro considerado en el archivo CSV.
 - viii. Se seleccionó el botón "Run" para correr el modelamiento.

- b. Modelamiento de distribución espacial potencial futura del cedro para el periodo 2041 - 2060, bajo un escenario intermedio (RCP 4.5) de cambio climático.
- i. Se abrió el programa ejecutando el archivo Maxent.JAR
 - ii. En la sección "Samples", ubicada en la esquina superior izquierda, se seleccionó el archivo CSV, referente a los datos de ocurrencia de la especie.
 - iii. En la sección "Environmental layers", ubicada en la esquina superior derecha, se seleccionó la carpeta (CLIM_FUT > RCP_45 > He45_ASC) en donde se encuentran las capas de los predictores ambientales para el escenario futuro de cambio climático intermedio (RCP 4.5).
 - iv. Una vez enlistadas las variables de los predictores ambientales, al tratarse de variables continuas se aseguró que la opción "Continuous" esté seleccionada para todas.
 - v. En la sección "Output directory", ubicada en la esquina inferior derecha, se selecciona la carpeta en donde se almacenarán los archivos resultantes de la corrida (MAXENT > Resultados > OUTPUT_2)
 - vi. De igual manera, se aseguró en marcar la opción "Do jackknife to measure variable importance". Esta función genera datos estadísticos para conocer qué variables aportan un mayor peso al comportamiento del modelamiento para la especie de interés.
 - vii. Finalmente, en la ventana de "Settings" se aseguró que la opción "Replicate run type" estuviese marcada como "Crossvalidate" y que "Remove duplicate presence records"

esté activa. Esta última excluirá del modelamiento cualquier punto de ocurrencia duplicado; es decir, que posea las mismas coordenadas geográficas que algún otro considerado en el archivo CSV.

- viii. Se seleccionó el botón “Run” para correr el modelamiento.
- c. Modelamiento de distribución espacial potencial futura del cedro para el periodo 2041 - 2060, bajo un escenario pesimista (RCP 8.5) de cambio climático.
- i. Se abrió el programa ejecutando el archivo Maxent.JAR
 - ii. En la sección “Samples”, ubicada en la esquina superior izquierda, se seleccionó el archivo CSV, referente a los datos de ocurrencia de la especie.
 - iii. En la sección “Environmental layers”, ubicada en la esquina superior derecha, se seleccionó la carpeta (CLIM_FUT > RCP_85 > He85_ASC) en donde se encuentran las capas de los predictores ambientales para el escenario futuro de cambio climático pesimista (RCP 8.5).
 - iv. Una vez enlistadas las variables de los predictores ambientales, al tratarse de variables continuas se aseguró que la opción “Continuous” esté seleccionada para todas.
 - v. En la sección “Output directory”, ubicada en la esquina inferior derecha, se selecciona la carpeta en donde se almacenarán los archivos resultantes de la corrida (MAXENT > Resultados > OUTPUT_3)
 - vi. De igual manera, se aseguró en marcar la opción “Do jackknife to measure variable importance”. Esta función genera datos estadísticos para conocer qué variables aportan

un mayor peso al comportamiento del modelamiento para la especie de interés.

vii. Finalmente, en la ventana de “Settings” se aseguró que la opción “Replicate run type” estuviese marcada como “Crossvalidate” y que “Remove duplicate presence records” esté activa. Esta última excluirá del modelamiento cualquier punto de ocurrencia duplicado; es decir, que posea las mismas coordenadas geográficas que algún otro considerado en el archivo CSV.

viii. Se seleccionó el botón “Run” para correr el modelamiento.

5. Identificación de hotspots de deforestación por actividades antrópicas

a. Densidad de Kernel en el software ArcGis 10.8.

i. Se empleó la herramienta “Raster to point” (ArcToolbox: Conversion Tools > From Raster > Raster To Point), para convertir los píxeles con ocurrencia de pérdida de bosque 2001 – 2020 en el ANP y su ZA en puntos.

ii. Seguidamente, se empleó la herramienta “Kernel density” (ArcToolbox: Spatial Analyst Tools > Density > Kernel Density) para obtener la densidad de deforestación para la zona de estudio en el periodo 2001 – 2020.

6. Cálculo de áreas de mayor probabilidad de ocurrencia de cedro

a. Áreas de mayor probabilidad en la actualidad

i. Se insertó el archivo Cedrela_odorata_L.asc al proyecto

ii. Se convirtió a ráster utilizando la herramienta “ASCII To Raster” (ArcToolbox: Conversion Tools > From Raster >

Raster To ASCII), y se indicó como tipo de data de salida "Float". Se le asignó "Cedrela_PRE.tif" como nuevo nombre al ráster resultante.

Una vez obtenido el nuevo ráster, este no contará con una referencia espacial especificada, por lo que es necesario asignarle un sistema de coordenadas:

- iii. Para ello, se utilizó la herramienta "Define Projection" (ArcToolbox: Data Management Tools > Projections and Transformations > Define Projection). Se seleccionó el sistema de coordenadas geográficas WGS 1984.
- iv. Luego, se le reasignó un nuevo sistema de coordenadas proyectadas: WGS 1984 UTM 18S mediante la herramienta "Project Raster" (ArcToolbox: Data Management Tools > Projections and Transformations > Raster > Project Raster) y se generó un nuevo ráster de nombre "Ced_PRE_UTM.tif".

Con el sistema de coordenadas proyectadas al ráster, ya es posible continuar con el cálculo de las áreas.

- v. Se modificó la simbología del ráster "Ced_PRE_UTM.tif" a "Clasificado" y se seleccionó 15 clases: Clase 1 menor probabilidad de ocurrencia – Clase 15 mayor probabilidad de ocurrencia de la especie (Tabla 3.3).
- vi. Para mejorar la resolución del ráster resultante se seleccionó la herramienta "Resample" (ArcToolbox: Data Management Tools > Raster > Raster Processing > Resample), y se añadió una potencia adicional al tamaño de celda indicado. Finalmente, se eligió "Bilinear" como técnica de muestreo.

- vii. Una vez obtenido el ráster remuestreado, se empleó la herramienta “Reclassify” (ArcToolbox: Spatial Analyst Tools > Reclass > Reclassify) con el objetivo de generar un nuevo ráster con las quince clases listas para realizar los cálculos de área.
- viii. Seguidamente, se realizó una conversión de ráster a polígono mediante la herramienta “Raster To Polygon” (ArcToolbox: Conversion Tools > From Raster > Raster To Polygon).

Se obtuvo el archivo shapefile “Cedrela_PRE_Reclassify.shp”, el cual ya estaría listo para realizar el cálculo de áreas para cada clase. No obstante, previamente a ello, fue necesario marginar las áreas deforestadas consignadas en el archivo shapefile “BPSMSC_Pérdida_Bosque_2001_2020”:

- ix. Se realizó un recorte mediante la herramienta “Clip” (ArcToolbox: Analyst Tools > Extract > Clip) y se eligió como base la capa “Cedrela_PRE_Reclassify.shp” y como entidad de recorte al archivo shapefile del Bosque de Protección San Matías-San Carlos y su Zona de Amortiguamiento, resultando en el archivo shapefile “Cedrela_PRE_Reclassify_BPSMSC.shp”.
- x. Mediante la herramienta “Erase” (ArcToolbox: Analysis Tools > Overlay > Erase) se eliminaron todas aquellas áreas deforestadas que poseían un solapamiento con la capa “Cedrela_PRE_Reclassify_BPSMSC.shp”. Se empleó como base el shape “Cedrela_PRE_Reclassify_BPSMSC.shp” y como entidad de sustracción el shape

“BPSMSC_Pérdida_Bosque_2001_2020”, resultando en la capa “Presente_Area_Final”.

- xi. Finalmente, se adicionó un campo a la tabla de atributos de este último archivo shapefile denominado “Area”. Luego, se seleccionó la opción “Calculate geometry” y se eligió tener las áreas de cada polígono en hectáreas.
- xii. Adicionalmente, se agregó un último campo denominado “Porcentaje”, se seleccionó “Field Calculator” y se agregó la siguiente fórmula: $[Area]*100/276447.42$, obteniendo como resultado el porcentaje del área de cada polígono con respecto al área total de interés, y, así, poder calcular el área de cada clase (276447.42 ha corresponde al área total del ANP y su Zona de Amortiguamiento)

El mismo procedimiento se replicó para el cálculo de las áreas en los escenarios futuros de cambio climático intermedio (RCP 4.5) y pesimista (RCP 8.5).